



TESIS - RC142501

**PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT RINGAN
BUATAN (ALWA) BERBAHAN *STYROFOAM* DENGAN
BAHAN TAMBAH SERAT BAJA PADA BETON RINGAN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON**

MEITY WULANDARI
NRP. 03111650020014

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA.

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

**PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT RINGAN
BUATAN (ALWA) BERBAHAN *STYROFOAM* DENGAN
BAHAN TAMBAH SERAT BAJA PADA BETON RINGAN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON**

MEITY WULANDARI
NRP. 03111650020014

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA.

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - RC142501

INFLUENCE OF USE OF ARTIFICIAL LIGHTWEIGHT AGGREGATES (ALWA) MADE FROM STYROFOAM WITH ADDITIONAL MATERIALS OF STEEL FIBRES ON LIGHTWEIGHT CONCRETE TO COMPRESSIVE STRENGTH

MEITY WULANDARI
NRP. 03111650020014

LECTURER :
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA.

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND GEO ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Meity Wulandari

NRP. 03111650020014

Tanggal Ujian : 20 April 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Tawio, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197003271997021001

(Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

NIP. 195004031976031003

(Pembimbing II)

3. Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198403182008121002

(Penguji)

4. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198004302005011002

(Penguji)



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan

IDA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750212 199903 2001

PENGARUH PENGGUNAAN AGREGAT RINGAN BUATAN (ALWA) BERBAHAN *STYROFOAM* DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAJA PADA BETON RINGAN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Nama : Meity Wulandari
NRP : 03111650020014
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA.

ABSTRAK

Saat ini sudah banyak inovasi untuk mengganti agregat khususnya agregat kasar dengan agregat ringan buatan yang disebut dengan ALWA (Artificial Light Weight Aggregate). Bahan yang digunakan untuk pembuatan agregat ringan buatan (ALWA) adalah Styrofoam. Penggunaan Styrofoam sebagai bahan campuran untuk pembuatan beton akan mengurangi berat volume beton karena karakteristiknya yang ringan. Styrofoam akan dilarutkan dengan aseton dan dibentuk menjadi butiran dengan ukuran yang menyerupai agregat kasar kemudian dikeringkan agar teksturnya menjadi keras. Pada penelitian ini Serat baja (fiber steel) juga digunakan sebagai bahan tambah, karena dengan penambahan serat baja beton akan lebih tahan terhadap retak sehingga diharapkan mampu meningkatkan kuat tekan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan ALWA berbahan Styrofoam dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur, serta untuk mengetahui komposisi optimum penggunaan ALWA berbahan Styrofoam dan serat baja sebagai pengganti agregat kasar. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder dengan ukuran 100x200 mm untuk uji kuat tekan dan kuat tarik belah, serta balok ukuran 15x15x600 mm untuk uji kuat lentur. Mutu beton (f'_c) rencana adalah 30 MPa. Komposisi campuran Styrofoam masing-masing 0%, 15%, 50%, dan 100%. Sedangkan komposisi serat baja (fiber steel) masing-masing 0%, 0,75% dan 1,5% dengan diameter kawat 0,7 mm. Hasil penelitian menunjukkan beton dengan campuran 15% ALWA Styrofoam dan 1,5% Serat baja mampu menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 28.5 MPa dan modulus elastisitas sebesar 23495 MPa. Hasil pengujian kuat tarik belah yang paling optimum sebesar 5.29 MPa dan untuk hasil uji kuat lentur sebesar 6.43 MPa.

Kata kunci : agregat ringan buatan, ALWA, beton ringan, *Styrofoam*, aseton, serat baja, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, kuat lentur.

“Halaman sengaja dikosongkan”

INFLUENCE OF USE OF ARTIFICIAL LIGHTWEIGHT AGGREGATES (ALWA) MADE FROM STYROFOAM WITH ADDITIONAL MATERIALS OF STEEL FIBRES ON LIGHTWEIGHT CONCRETE TO COMPRESSIVE STRENGTH

Name : Meity Wulandari
NRP : 03111650020014
Lecturer : 1. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA.

ABSTRACT

Currently there are many innovations to replace aggregate especially coarse aggregates with artificial lightweight aggregates called ALWA. The material used to make ALWA is Styrofoam. The use of Styrofoam as a mixed material for the manufacture of concrete will reduce the weight of the volume of concrete due to its mild characteristics. then formed into granules then dried to texture becomes hard. In this study Steel fibres is also used as an added material, because with the addition of concrete steel fibers will be more resistant to cracks so it is expected to increase the compressive strength.

The purpose of this research is to know the effect of ALWA using Styrofoam material with steel fiber added material on lightweight concrete to compressive strength, tensile strength and flexural strength, and to know the optimum composition of ALWA made from Styrofoam and steel fiber in lieu of aggregate. The test specimens used in this study were cylinders with size 100x200 mm for compressive strength test and tensile strength, and beam size 15x15x600 mm for bending strength test. The quality of the concrete (f'_c) plan is 25 MPa. Styrofoam mixture compositions are 0%, 15%, 50%, and 100%, respectively. While the composition of steel fiber (fiber steel) each 0%, 0.75% and 1.5% with a diameter of 0.7 mm wire. The results showed that 15% concrete with ALWA Styrofoam and 1.5% steel fiber was able to produce optimum compressive strength of 28.5 MPa and modulus of elasticity of 23495 MPa. The most optimum tensile strength test result is 5.29 MPa and for the flexural strength test results of 6.43 MPa.

Keywords : ALWA, lightweight concrete, *Styrofoam*, aseton, steel fibres, compressive strength, modulus of elasticity, tensile strength, flexural strenght.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis ini yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Agregat Ringan Buatan (ALWA) Berbahan *Styrofoam* dengan Bahan Tambah Serat Baja Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penyusunan Tesis ini tentu tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, karena atas ridho-Nya, proses penyusunan Tesis ini berjalan dengan baik dan lancar.
2. Ayah dan Mama yang selalu memberikan dukungan baik secara spiritual, moral maupun finansial.
3. Saudara tercinta Mbak Linda, Mbak Yanti, Putri dan 3D (Danish, Daffa, Dinar) yang selalu memberikan dukungan dan meramaikan suasana.
4. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D. dan Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tesis ini.
5. Data Iranata, ST., MT., Ph.D. dan Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran agar laporan Tesis ini menjadi lebih baik.
6. PT. Varia Usaha Beton yang telah memberikan fasilitas dan bantuan dalam proses penelitian ini.
7. Dosen-dosen bidang Struktur yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan mengenai ilmu struktur sehingga menunjang penyusunan Tesis ini.
8. Tim ALWA kesayangan (Dara dan Fedya), terima kasih atas bantuan selama proses pengerjaan Tesis dari nol sampai *finish*, *support* dan semangat kalian sangat berarti dalam penyusunan Tesis ini.

9. Teman-teman PPS STR 2016 (Neng Santi, Mas Santo, Yehezkiel, Vicky, Masruri, Danny, Chris dan Mbak Kiki) yang telah memberi dukungan dan bersedia berbagi ilmu, sehingga menunjang penyusunan Tesis ini.
10. Tim hore (Ita, Ial, Hudan, Avit, Ivan, Arfi, Faza) yang telah memberi do'a dan dukungan untuk menyelesaikan Tesis ini.
11. Teman-teman TS Bro yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan Tesis ini.
12. Karyawan Departemen Teknik Sipil yang telah membantu memudahkan dalam proses pembuatan surat ijin dan pemberkasan untuk sidang Tesis.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis memohon saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sehingga bisa dilakukan perbaikan terhadap proposal Tesis ini dan juga menambah pengetahuan bagi penulis.

Surabaya, Mei 2018

(Penulis)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis ini yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Agregat Ringan Buatan (ALWA) Berbahan *Styrofoam* dengan Bahan Tambah Serat Baja Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penyusunan Tesis ini tentu tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, karena atas ridho-Nya, proses penyusunan Tesis ini berjalan dengan baik dan lancar.
2. Ayah dan Mama yang selalu memberikan dukungan baik secara spiritual, moral maupun finansial.
3. Saudara tercinta Mbak Linda, Mbak Yanti, Putri dan 3D (Danish, Daffa, Dinar) yang selalu memberikan dukungan dan meramaikan suasana.
4. Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D. dan Prof. Dr. Ir. I. Gusti Putu Raka, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tesis ini.
5. Data Iranata, ST., MT., Ph.D. dan Bambang Piscesa, ST., MT., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran agar laporan Tesis ini menjadi lebih baik.
6. PT. Varia Usaha Beton yang telah memberikan fasilitas dan bantuan dalam proses penelitian ini.
7. Dosen-dosen bidang Struktur yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan mengenai ilmu struktur sehingga menunjang penyusunan Tesis ini.
8. Tim ALWA kesayangan (Dara dan Fedya), terima kasih atas bantuan selama proses pengerjaan Tesis dari nol sampai *finish*, *support* dan semangat kalian sangat berarti dalam penyusunan Tesis ini.

9. Teman-teman PPS STR 2016 (Neng Santi, Mas Santo, Yehezkiel, Vicky, Masruri, Danny, Chris dan Mbak Kiki) yang telah memberi dukungan dan bersedia berbagi ilmu, sehingga menunjang penyusunan Tesis ini.
10. Tim hore (Ita, Ial, Hudan, Avit, Ivan, Arfi, Faza) yang telah memberi do'a dan dukungan untuk menyelesaikan Tesis ini.
11. Teman-teman TS Bro yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan Tesis ini.
12. Karyawan Departemen Teknik Sipil yang telah membantu memudahkan dalam proses pembuatan surat ijin dan pemberkasan untuk sidang Tesis.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis memohon saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sehingga bisa dilakukan perbaikan terhadap proposal Tesis ini dan juga menambah pengetahuan bagi penulis.

Surabaya, Mei 2018

(Penulis)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
 BAB 1 PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1. Agregat Ringan Buatan (ALWA)	7
2.2. Beton Ringan	7
2.3. <i>Styrofoam</i>	8
2.4. Aseton	10
2.5. Serat Baja (<i>Fiber Steel</i>)	10
2.6. Perbandingan Variabel Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian	12
 BAB 3 METODE PENELITIAN	 17
3.1. Umum	17
3.2. Diagram Alir Penelitian	18
3.3. Studi Literatur	19
3.4. Pembuatan Agregat Ringan Buatan (ALWA)	19
3.5. Persiapan Bahan	20
3.6. Pengujian Bahan.....	22
3.6.1. Agregat Halus (Pasir).....	22
3.6.2. Agregat Kasar (Kerikil).....	25

3.6.3.	ALWA Styrofoam	28
3.7.	Proporsi Campuran (<i>Mix Design</i>).....	29
3.8.	Pembuatan Benda Uji	30
3.9.	Perawatan (<i>Curing</i>) Benda Uji.....	31
3.10.	Pengujian Kekuatan Tekan	32
3.11.	Modulus Elastisitas.....	33
3.12.	Pengujian Kekuatan Tarik Belah.....	33
3.13.	Pengujian Kekuatan Lentur.....	34
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1.	Umum	37
4.2.	Hasil Pengujian Sifat-sifat Fisis Agregat.....	37
4.2.1.	Agregat Halus (Pasir).....	37
4.2.1.1.	Pengujian Berat Jenis Pasir	37
4.2.1.2.	Pengujian Analisa Saringan Pada Pasir	38
4.2.1.3.	Pengujian Berat Isi dan Kadar Udara Pada Pasir	39
4.2.1.4.	Pengujian Kadar Lumpur Pada Pasir	39
4.2.1.5.	Pengujian Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik	40
4.2.1.6.	Pengujian Kelembaban Pasir	41
4.2.1.7.	Pengujian Air Resapan Pada Pasir.....	41
4.2.2.	Agregat Kasar (Batu pecah)	42
4.2.2.1.	Pengujian Berat Jenis Batu pecah.....	42
4.2.2.2.	Pengujian Analisa Saringan Pada Batu pecah	42
4.2.2.3.	Pengujian Berat Volume Batu pecah	42
4.2.2.4.	Pengujian Kadar Lumpur Pada Batu pecah.....	44
4.2.2.5.	Pengujian Kelembaban Pada Batu pecah.....	44
4.2.2.7.	Pengujian Air Resapan Pada Batu pecah	46
4.2.2.8.	Pengujian Kekuatan Batu Pecah terhadap Tumbukan (<i>Impact Value</i>).....	46

4.2.3. Hasil Pengujian ALWA Styrofoam.....	47
4.2.3.1. Pengujian Berat Jenis ALWA Styrofoam	47
4.2.3.2. Pengujian Berat Isi ALWA Styrofoam	48
4.2.3.3. Pengujian Analisa Saringan ALWA Styrofoam.....	48
4.2.3.4. Pengujian Kekuatan ALWA Styrofoam terhadap Tumbukan (<i>Impact Value</i>)	49
4.3. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>) Beton.....	50
4.4. Hasil Pengujian Slump	51
4.5. Hasil Pengujian Berat Volume Beton	53
4.6. Hasil Pengujian Sifat Mekanik Beton	57
4.6.1. Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	58
4.6.2. Kekuatan Tekan Minimum Beton Struktural dan Beton Tahan Gempa dengan Campuran ALWA <i>Styrofoam</i> dan Serat Baja	67
4.6.3. Hubungan Tegangan dan Regangan	68
4.6.4. Formulasi Kurva Tegangan dan Regangan	72
4.6.5. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	78
4.6.6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	81
4.6.7. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	87
4.7. Rencana Anggaran Biaya Produksi Beton dengan Penggunaan ALWA <i>Styrofoam</i> dan Serat Baja	89
BAB 5 PENUTUP	97
5.1. Kesimpulan	97
5.2. Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Variabel Beberapa Penelitian Terdahulu dengan Variabel Rencana Penelitian.....	12
Tabel 3.1	Spesifikasi Serat Baja <i>Hooked</i>	22
Tabel 3.2	Variasi Benda Uji Kuat Tekan.....	30
Tabel 4.1.	Berat Jenis Agregat Halus (Pasir)	37
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Analisa Saringan.....	38
Tabel 4.3.	Berat Isi Pada Pasir	39
Tabel 4.4.	Pengujian Kadar Lumpur Pada Pasir	40
Tabel 4.5.	Hasil pengujian kebersihan pasir terhadap bahan organic	40
Tabel 4.6.	Pengujian Kelembaban Pada Pasir.....	41
Tabel 4.7.	Pengujian Air Resapan Pada Pasir	41
Tabel 4.8.	Hasil Pengujian Berat Jenis Pada Batu pecah.....	42
Tabel 4.9.	Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Batu pecah	43
Tabel 4.10.	Pengujian Berat Isi dan Kadar Udara Pada Batu pecah	44
Tabel 4.11.	Pengujian Kadar Lumpur Pada Batu pecah.....	44
Tabel 4.12.	Pengujian Kelembaban Batu pecah.....	45
Tabel 4.13.	Pengujian Keausan Agregat Kasar (Batu pecah)	45
Tabel 4.14.	Pengujian Air Resapan Pada Batu pecah	46
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Kekuatan Tumbukan (<i>Impact</i>) Pada Batu Pecah.....	46
Tabel 4.16.	Hasil Pengujian Berat Jenis ALWA <i>Styrofoam</i>	47
Tabel 4.17.	Hasil Pengujian Berat Isi ALWA <i>Styrofoam</i>	48
Tabel 4.18.	Analisis Saringan ALWA <i>Styrofoam</i>	48
Tabel 4.19.	Hasil Pengujian Kekuatan Tumbukan.....	49
Tabel 4.20.	Mix Design untuk Kebutuhan Bahan per 1 m ³	50
Tabel 4.21.	<i>Mix Design</i> untuk Tiap Benda Uji Silinder Ukuran 100 x 200 mm	50
Tabel 4.22.	<i>Mix Design</i> untuk Tiap Benda Uji Balok Ukuran 150x150x600 mm.....	50
Tabel 4.23.	Hasil Pengujian Slump	51
Tabel 4.24.	Berat Volume Beton ALWA <i>Styrofoam</i> Tanpa Serat Baja	53
Tabel 4.25.	Volume Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Komposisi Serat Baja 0.75%.....	55

Tabel 4.26.	Volume Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Komposisi Serat Baja 1.5%.....	56
Tabel 4.27.	Kekuatan Tekan Beton ALWA <i>Styrofoam</i> tanpa Penambahan Serat Baja.....	58
Tabel 4.28.	Kekuatan Tekan Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan 0.75% Serat Baja.....	60
Tabel 4.29.	Kekuatan Tekan Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan 1.5% Serat Baja.....	62
Tabel 4.30.	Tegangan dan Regangan Beton Normal dan Beton dengan Penggunaan ALWA <i>Styrofoam</i>	69
Tabel 4.31.	Tegangan dan Regangan Beton dengan Penggunaan ALWA <i>Styrofoam</i> dan 0.75% Serat Baja.....	70
Tabel 4.32.	Tegangan dan Regangan Beton dengan Penggunaan ALWA <i>Styrofoam</i> dan 1.5% Serat Baja.	71
Tabel 4.33.	Modifikasi Nilai n untuk Beton ALWA <i>Styrofoam</i> Tanpa Serat Baja.....	70
Tabel 4.34.	Modifikasi Nilai n Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dan 0.75% Serat Baja.....	74
Tabel 4.35.	Modifikasi Nilai n Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dan 1.5% Serat Baja	75
Tabel 4.36.	Modulus Elastisitas Beton ALWA <i>Styrofoam</i> tanpa Serat Baja.....	78
Tabel 4.37.	Modulus Elastisitas Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan 0.75% Serat Baja.....	79
Tabel 4.38.	Kuat Tarik Belah Beton ALWA <i>Styrofoam</i> tanpa Penambahan Serat Baja.....	79
Tabel 4.39.	Modulus Elastisitas (E_c) Beton Teoritis dan Eksperimental	80
Tabel 4.40.	Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA <i>Styrofoam</i> tanpa Penambahan Serat Baja.....	81
Tabel 4.41.	Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan 0.75% Serat Baja	83
Tabel 4.42.	Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan 1.5% Serat Baja	85
Tabel 4.43.	Hasil Perhitungan Modulus Keruntuhan Saat Retak Pertama	87
Tabel 4.44.	Hasil Perhitungan Modulus Keruntuhan Saat Beban Maksimum	87
Tabel 4.45.	Perbandingan Analisa Teoritis dan Eksperimental	89
Tabel 4.46.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton Normal	89
Tabel 4.47.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 15% ALWA <i>Styrofoam</i>	90
Tabel 4.48.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 50% ALWA <i>Styrofoam</i>	90
Tabel 4.49.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 100% ALWA <i>Styrofoam</i>	90

Tabel 4.51.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 15% ALWA <i>Styrofoam</i> 0.75% Serat Baja.....	92
Tabel 4.52.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 50% ALWA <i>Styrofoam</i> 0.75% Serat Baja.....	92
Tabel 4.53.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 100% ALWA <i>Styrofoam</i> 0.75% Serat Baja.....	92
Tabel 4.54.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 0% ALWA <i>Styrofoam</i> 1.5% Serat Baja.....	93
Tabel 4.55.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 15% ALWA <i>Styrofoam</i> 1.5% Serat Baja.....	94
Tabel 4.56.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 50% ALWA <i>Styrofoam</i> 1.5% Serat Baja.....	94
Tabel 4.57.	Biaya Pembuatan 1 m ³ Beton dengan 100% ALWA <i>Styrofoam</i> 1.5% Serat Baja.....	94

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Bentuk Dan Jenis-Jenis <i>Fiber Steel</i> (Serat Baja)	11
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	18
Gambar 3.2.	Limbah <i>Styrofoam</i> dan Larutan Aseton.....	19
Gambar 3.3	Butiran ALWA <i>Styrofoam</i> yang direndam	20
Gambar 3.4.	Semen Gresik	20
Gambar 3.5.	Pasir Lumajang	20
Gambar 3.6.	Batu Pecah Ukuran 20 mm	21
Gambar 3.7.	ALWA <i>Styrofoam</i>	21
Gambar 3.8.	Spesifikasi Serat Baja	22
Gambar 3.9.	Serat Baja Berkait (<i>Hooked</i>)	22
Gambar 3.10.	Model <i>Specimen</i> Pengujian Kekuatan Tekan Silinder Beton	32
Gambar 3.11.	Model <i>Specimen</i> Pengujian Kekuatan Tarik Belah Silinder Beton.	34
Gambar 3.12.	Model <i>Specimen</i> Pengujian Kuat Lentur	35
Gambar 4.1.	Analisa Saringan Pasir Zona Gradasi 2	38
Gambar 4.2.	Hasil Pengujian Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik	40
Gambar 4.3.	Analisa Saringan Batu pecah Ukuran Maksimum 20 mm	43
Gambar 4.4.	Analisis Saringan ALWA <i>Styrofoam</i> Ukuran Maksimum 20 mm	49
Gambar 4.5.	Perbandingan Nilai Slump Beton ALWA <i>Styrofoam</i>	52
Gambar 4.6.	Uji Slump.....	52
Gambar 4.7.	Proses Pencampuran Serat Baja.....	53
Gambar 4.8	Volume Beton ALWA <i>Styrofoam</i> Tanpa Serat Baja	54
Gambar 4.9.	Volume Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Komposisi Serat Baja 0.75%	55
Gambar 4.10.	Volume Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Komposisi Serat Baja 1.5%.....	56
Gambar 4.11.	Hubungan Volume Beton dan Komposisi ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan Serat Baja	57
Gambar 4.12.	Kekuatan Tekan Beton ALWA <i>Styrofoam</i> Tanpa Serat Baja	59
Gambar 4.13.	Beton dengan Komposisi 100% ALWA <i>Styrofoam</i>	59
Gambar 4.14	Kuat Tekan Beton ALWA <i>Styrofoam</i> dengan Penambahan 0.75% Serat Baja.....	60

Gambar 4.15. Pola Retak Geser (shear) pada Beton dengan Komposisi 50% ALWA Styrofoam dan 0.75% Serat baja	61
Gambar 4.16 Kekuatan Tekan Beton dengan Penambahan 1.5% Serat Baja.....	62
Gambar 4.17 Pola Retak <i>Cone</i> dan <i>Shear</i> (geser) pada Beton dengan Komposisi 0% ALWA <i>Styrofoam</i> dan 1.5% Serat baja.....	63
Gambar 4.18. Hubungan Kekuatan Tekan dan Prosentase ALWA Styrofoam dengan Penambahan Serat Baja	63
Gambar 4.19. Retak Pada Beton <i>non</i> Serat dan Beton Berserat	64
Gambar 4.20 Hubungan Kekuatan Tekan dan Komposisi ALWA <i>Styrofoam</i> Pada Beton tanpa Serat baja	66
Gambar 4.21. Hubungan Kekuatan Tekan dan Komposisi ALWA <i>Styrofoam</i> Pada Beton dengan Penggunaan 0.75% Serat Baja	67
Gambar 4.22. Hubungan Kekuatan Tekan dan Komposisi ALWA <i>Styrofoam</i> Pada Beton dengan Penggunaan 1.5% Serat Baja	68
Gambar 4.23. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton Normal dan Beton dengan Penggunaan ALWA Styrofoam	69
Gambar 4.24. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA Styrofoam dan 0.75% Serat Baja.....	71
Gambar 4.25. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA Styrofoam dan 1.5% Serat Baja.....	72
Gambar 4.26. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan ALWA Styrofoam tanpa Serat Baja	74
Gambar 4.27. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA Styrofoam dan 0.75% Serat Baja.....	76
Gambar 4.28. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA Styrofoam dan 1.5% Serat Baja.....	77
Gambar 4.29. Hubungan Modulus Elastisitas dengan Komposisi ALWA Styrofoam	80
Gambar 4.30. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA Styrofoam tanpa Serat Baja.....	82
Gambar 4.31. Beton dengan ALWA <i>Styrofoam</i> Terbelah Menjadi Dua Bagian	83
Gambar 4.32. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA Styrofoam dengan Penambahan 0.75% Serat Baja	84
Gambar 4.33. Beton dengan Komposisi 100% ALWA <i>Styrofoam</i> dan 0.75% Serat Baja Tidak Terbelah Menjadi Dua Bagian	84
Gambar 4.34. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA Styrofoam dengan Penambahan 1.5% Serat Baja	71

Gambar 4.35. Hubungan Penggunaan ALWA Styrofoam dan Penambahan Serat Baja terhadap Kekuatan Tarik Belah.....	86
Gambar 4.36. Hubungan Beban dan Lendutan Balok dengan Penggunaan 15% ALWA <i>Styrofoam</i> dan 1.5% Serat Baja.....	88
Gambar 4.37. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Balok dengan Penggunaan ALWA <i>Styrofoam</i> dan Serat Baja.....	88
Gambar 4.38. Peningkatan Biaya Pembuatan 1m ³ Beton dengan Campuran ALWA <i>Styrofoam</i>	91
Gambar 4.39. Peningkatan Biaya Pembuatan 1m ³ Beton dengan Campuran ALWA <i>Styrofoam</i> dan 0.75% Serat Baja	93
Gambar 4.40. Peningkatan Biaya Pembuatan 1m ³ Beton dengan Campuran ALWA <i>Styrofoam</i> dan 1.5% Serat Baja	95

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan komponen utama dalam struktur sebuah bangunan. Bahan utama penyusun beton normal antara lain semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Jika agregat halus dan agregat kasar sulit didapat, maka bisa dibuat agregat buatan. Saat ini sudah banyak inovasi untuk mengganti agregat khususnya agregat kasar dengan agregat ringan buatan yang disebut dengan ALWA (*Artificial Light Weight Aggregate*).

Salah satu tujuan penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) adalah membuat beton menjadi lebih ringan karena akan mengurangi berat volume beton. Beton ringan struktural merupakan beton yang memiliki berat isi kurang dari 1840 kg/m^3 (SNI 3402:2008). Penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) yang memenuhi standar untuk digunakan pada beton struktural akan berpengaruh terhadap desain dimana akan mempengaruhi dimensi komponen utama bangunan struktur seperti kolom dan balok. Selain itu, jika beton menjadi ringan maka berat struktur dari suatu gedung akan menjadi ringan dan gaya geser gempa kecil sehingga *safety* dari bangunan tersebut lebih baik. Agregat ringan buatan (ALWA) yang sudah ada yaitu dengan membekahkan melalui proses pemanasan bahan-bahan, seperti terak dari peleburan besi, tanah liat, diatome, abu terang, abu sabak, batu serpih, batu lempung, perlit dan vermikulit. Bahan yang digunakan untuk pembuatan agregat ringan buatan (ALWA) tidak hanya berasal dari alam namun juga bisa berasal dari bahan-bahan lain, salah satunya adalah limbah *Styrofoam*.

Styrofoam merupakan turunan plastik dengan karakteristik ringan dan fleksibel, namun jika telah menjadi sampah sulit diuraikan dan akan terus menumpuk (Priyono dan Nadia, 2014). Upaya untuk meningkatkan nilai guna dari *Styrofoam* adalah menggunakan *Styrofoam* tersebut sebagai bahan campuran beton, khususnya untuk bahan pembuatan agregat ringan buatan (ALWA). Penggunaan *Styrofoam* sebagai bahan campuran untuk pembuatan

beton akan mengurangi berat volume beton karena karakteristiknya yang ringan.

Penelitian terkait penggunaan limbah *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar menyatakan bahwa pada penambahan butiran 1% *stryofoam* akan menurunkan berat volume beton rata-rata sebesar 12% dengan rincian campuran 1% (turun 13%) , 2% (turun 22%), 3% (turun 32%). Selain hal tersebut penambahan *Styrofoam* pada beton menurunkan kuat tekan beton normal. Untuk penambahan *Styrofoam* sebesar 1% kuat tekan menurun 54%, 2% penurunan kuat tekan sebesar 57% dan 3% penurunan sebesar 87% (Priyono dan Nadia, 2014). Penelitian lain juga menyebutkan bahwa beton dengan kadar *Styrofoam* 12,5 % dari agregat kasar cukup representatif jika digunakan dalam beton struktural (Budhianto, 1997).

Kajian eksperimental tentang perkuatan agregat kasar *Styrofoam* untuk menambah kuat tekan juga telah dilakukan yaitu dengan memberi lapisan *coating* (85% semen + 15% *fly ash* + air) pada butiran *Styrofoam* dengan ukuran maksimum 2 cm kemudian direncanakan sebagai agregat kasar dengan rasio air semen 0.5, 0.6, 0.7 dan 0.8 dengan kekuatan target 15 MPa. Hasil uji menunjukkan berat isi beton ALWA *styrofoam* 25%-30% lebih rendah dari beton normal, dengan kuat tekan beton ALWA *styrofoam* meningkat seiring menurunnya faktor air semen, tetapi peningkatannya tidak signifikan seperti pada kuat tekan beton normal (Dedi Enda,dkk., 2016). Penambahan *Styrofoam* yang dilarutkan dengan Toluena menghasilkan kuat tekan beton minimum yaitu pada penambahan *styrofoam* 20% dengan pelarut Toluena sebesar 16,6 MPa, dan kuat tekan beton maksimum pada penambahan *styrofoam* 12% dengan pelarut Toluena yaitu 23,1 MPa. Sedangkan, tanpa menggunakan *styrofoam* kuat tekannya 23,3 MPa (Simamora dan Harahap, 2015).

Penelitian menggunakan *Styrofoam* dan bahan tambah lain juga sudah dilakukan yaitu, dengan penambahan 1% serat baja dan 20% *Styrofoam* mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 18,443 MPa sedangkan tanpa penambahan *Styrofoam* dan serat baja nilai kuat tekannya 17,55 MPa (Slamet Prayitno, dkk, 2016).

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian terhadap beton dengan menggunakan agregat kasar berbahan butiran *Styrofoam* yang sudah dilakukan, diketahui bahwa kuat tekan beton menurun seiring dengan penambahan agregat *Styrofoam* (Priyono dan Nadia, 2014), peningkatan kuat tekan *Styrofoam* dengan lapisan *coating* juga tidak signifikan (Dedi Enda, dkk, 2016). Sehingga, didalam penelitian ini untuk memaksimalkan fungsi *Styrofoam* sebagai bahan untuk membuat agregat ringan buatan (ALWA) yang dijadikan sebagai bahan pengganti agregat kasar *styrofoam* nantinya akan dilarutkan dengan pelarut yaitu *Aceton* (CH_3COCH_3) kemudian dibentuk menjadi butiran dengan ukuran menyerupai ukuran agregat kasar dan dikeringkan agar teksturnya menjadi keras.

Pada penelitian ini beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* juga akan ditambahkan serat baja. Berdasarkan penelitian Ananta ariatama (2007) kekuatan tekan beton dengan penggunaan serat baja berkait meningkat 14.67% dari beton normal. Pada penelitian yang telah dilakukan Slamet Prayitno, dkk (2016) melakukan penambahan 1% serat baja dan 20% *Styrofoam* mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 18,443 MPa sedangkan tanpa penambahan *Styrofoam* dan serat baja nilai kuat tekannya 17,55 MPa. Konsep utama penambahan serat adalah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis beton, penambahan serat mampu membuat beton lebih tahan terhadap retak, meskipun tidak banyak menambah kuat tekan beton namun bisa meningkatkan daktilitas. (Gani M.S.J dalam Adi Saputra Hendri, 2011)

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas ?
- b. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat tarik belah beton ?

- c. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat lentur ?
- d. Berapa komposisi optimum penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar dengan bahan tambah serat baja ?
- e. Berapa besar penurunan berat volume beton dengan penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar dengan bahan tambah serat baja ?

1.3 Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton.
- b. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat tarik belah dan kuat lentur beton.
- c. Untuk mengetahui komposisi optimum penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar dengan bahan tambah serat baja.
- d. Untuk mengetahui penurunan berat volume beton dengan penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar dengan bahan tambah serat baja.

1.4 Manfaat Penelitian

- a. Meningkatkan nilai tambah dan nilai guna bahan *Styrofoam* dalam rangka memanfaatkan limbah industri sebagai salah satu alternatif pengganti agregat kasar dalam campuran beton.
- b. Menjadi bahan masukan bagi industri beton mengenai manfaat *Styrofoam* dan serat baja sebagai salah satu campuran dalam adukan beton.

- c. Mengurangi berat volume beton sehingga beton menjadi lebih ringan. Jika beton menjadi ringan maka berat struktur dari suatu gedung akan menjadi ringan dan gaya geser gempa kecil sehingga *safety* dari bangunan tersebut lebih baik.
- d. Sebagai referensi peneliti selanjutnya terkait penggunaan *Styrofoam* sebagai alternatif campuran beton.

1.5 Batasan Masalah

- a. Mutu beton (f'_c) rencana adalah 30 MPa.
- b. Komposisi agregat ringan buatan (ALWA) adalah 0%, 15%, 50%, dan 100% dari agregat kasar (batu pecah).
- c. Komposisi serat baja adalah 0%, 0,75% dan 1,5% dengan diameter 0,8.
- d. Bentuk serat baja adalah jenis *hooked*.
- e. Jumlah benda uji untuk setiap variasi campuran sebanyak 3 buah.
- f. Benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran 100 x 200 mm untuk uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah serta balok ukuran 150 x 150 x 600 mm untuk uji kuat lentur.
- g. Pengujian beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan kuat lentur.
- h. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari.
- i. Komposisi *Styrofoam* dan tambahan serat baja untuk benda uji kuat lentur diambil dari hasil uji kekuatan tekan yang paling optimum.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Agregat Ringan Buatan (ALWA)

Agregat ringan buatan (ALWA) adalah salah satu agregat buatan yang mempunyai bobot sangat ringan berkisar antara 400-1800 kg/m³. ALWA yang sudah diproduksi di Indonesia menggunakan bahan baku berupa lempung sedimenter atau *shale* yang diperoleh dari wilayah Kabupaten Cilacap. Pembuatan ALWA dimulai dengan pemecahan *shale*, pengelompokkan hasil pemecahan *shale* sesuai dengan ukuran fraksi, pengeringan, kemudian dilakukan pemanasan awal dan pemanasan akhir yang terjadi didalam tungku putar dengan temperatur 500°C-1200°C atau lebih. Unit produksi ALWA di Loka Teknologi Permukiman Cilacap mempunyai kapasitas produksi per hari relatif kecil sekitar 7,5 m³ (Sulistiyowati dan Rakhman, 2015).

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan agregat ringan buatan (ALWA) tidak hanya berasal dari lempung. Erwin Rommel (2013) membuat agregat ringan buatan dari limbah plastik jenis HDPE yang dibuat melalui tahap pemilahan, pemanasan, pelumatan, pencetakan dan pembentukan agregat plastik dengan diameter maksimum 20 mm. Berat jenis yang dihasilkan yaitu sebesar 1378 Kg/m³.

2.2 Beton Ringan

Beton ringan merupakan beton yang mempunyai berat kurang dari 1800 kg/m³. Beton ringan dapat diperoleh dengan membuat beton dari agregat ringan, penambahan udara, atau penambahan material yang mempunyai berat satuan yang kecil (Purnawirati, 2015).

Berdasarkan jenis agregat ringan yang digunakan, beton ringan dapat diklasifikasikan menjadi (Dobrowolski dalam Purnawirati, 2015)

1. Beton ringan dengan berat jenis rendah (*low density concrete*).

Beton ini sangat ringan sekali dan biasanya digunakan untuk insulasi dan sebagai peredam suara. Berat isinya kurang dari 800 kg/m^3 dengan kekuatan berkisar antara 0,69-6,89 MPa dan daya hantar yang cukup rendah. Jenis agregat yang digunakan *perlite* dan *vermikulit*.

2. Beton ringan dengan kekuatan sedang (*moderate strength light concrete*).

Beton ini biasanya digunakan sebagai bahan pengisi dan mempunyai kuat tekan antara 6,89-17,24 MPa dengan berat isi antara $800\text{-}1440 \text{ kg/m}^3$. Jenis agregat yang digunakan biasanya *pumice* dan *skoria*.

3. Beton ringan struktural (*structural lightweight concrete*).

Beton ringan ini digunakan untuk bahan bangunan yang bersifat struktural dengan daya hantar panas yang rendah dari beton normal, walaupun lebih tinggi dari beton ringan dengan densitas rendah. Beton ini mempunyai kekuatan tekan lebih dari 17,24 MPa. Dengan berat isi maksimum 1840 kg/m^3 .

Untuk memenuhi kriteria beton ringan struktural dalam penelitian ini nantinya agregat kasar akan disubsitusi dengan agregat ringan buatan yang berbahan *Styrofoam* dan ditambah serat baja untuk menambah kuat tekan.

2.3 Styrofoam

Styrofoam atau *expanded polysterene* adalah bahan yang dibentuk dari *polysterene* dengan cara menghembuskan udara pada *polysterene* dalam kondisi panas sehingga menghasilkan foam dengan kandungan udara mencapai 95 % sehingga berat satuan *styrofoam* cukup rendah berkisar antara $15\text{-}22 \text{ kg/m}^3$. *Styrofoam* yang ditambahkan ke dalam campuran beton dapat dianggap sebagai rongga udara. Keuntungan penggunaan *styrofoam* sebagai pembentuk *styrofoam* dibandingkan pemasukan udara dalam beton adalah *styrofoam* memiliki kekuatan tarik dan jumlahnya dapat dikontrol (Satyarno, 2008).

Sifat– sifat *Styrofoam* antara lain (Priyono dan Nadia, 2014) :

- a. Mempunyai berat jenis yang relatif ringan.
- b. Tahan terhadap asam, basa, dan zat korosif.
- c. Mempunyai titik leleh pada suhu $102^{\circ}\text{-}106^{\circ}\text{C}$

- d. Mampu menahan panas.
- e. Dapat memperlambat timbulnya panas hidrasi
- f. Dapat mengurangi beban gempa yang berkerja lebih kecil karena berat struktur beton berkurang.

Penelitian ini nantinya akan menggunakan *styrofoam* sebagai substitusi agregat kasar. (Thomas Tamut, dkk., 2014) melakukan penelitian penggantian sebagian dari agregat kasar dengan *styrofoam* butiran pada beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah *styrofoam* yang tergabung dalam beton mempengaruhi sifat beton keras. Pada umur 28 hari, kuat tekan dari 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% EPS (*Expanded Polysterene*) dimasukkan dalam campuran beton adalah 91%, 77%, 71%, 63%, 57%, dan 45 %, masing-masing jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS. Semakin tinggi jumlah *styrofoam* butiran dalam campuran beton, semakin rendah kekuatan tarik. Campuran dengan 15% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 80% dan 30% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 70% jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS (*Expanded Polysterene*).

Budhianto (1997) telah melakukan penelitian terkait penggunaan Styrofoam sebagai pengganti agregat kasar untuk mendapatkan beton ringan. Kadar Styrofoam yang digunakan 0% ; 12,5% ; 25% ; 37,5% ; 50% ; 62,5% ; 75% ; 87,5% dan 100%. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *Styrofoam* dengan kadar 12,5% cukup representatif apabila digunakan sebagai beton struktural.

Butiran *styrofoam* dengan lapisan *coating* (85% semen + 15% *fly ash* + air) yang digunakan sebagai agregat kasar dengan ukuran maksimum 2 cm dan rasio air semen 0.5, 0.6, 0.7 dan 0.8 dengan kekuatan target 15 MPa menunjukkan berat isi beton ALWA *styrofoam* 25%-30% lebih rendah dari beton normal, dengan kuat tekan beton ALWA *styrofoam* meningkat seiring menurunnya faktor air semen, tetapi peningkatannya tidak signifikan seperti pada kuat tekan beton normal (Dedi Enda *et al.*, 2016). Penambahan *Styrofoam* yang dilarutkan dengan Toluena menghasilkan kuat tekan beton minimum yaitu pada penambahan *styrofoam* 20% dengan pelarut Toluena sebesar 16,6 MPa, dan kuat tekan beton maksimum pada penambahan

styrofoam 12% dengan pelarut Toluena yaitu 23,1 MPa. Sedangkan, tanpa menggunakan *styrofoam* kuat tekannya 23,3 MPa (Simamora dan Harahap, 2015).

Untuk memaksimalkan fungsi *styrofoam* sebagai bahan untuk membuat agregat ringan buatan (ALWA) yang dijadikan sebagai bahan pengganti agregat kasar *styrofoam* nantinya akan dilarutkan dengan pelarut yaitu Aseton (CH_3COCH_3) kemudian dibentuk menjadi butiran dengan diameter 1-2 cm dan dikeringkan terlebih dahulu agar teksturnya menjadi keras.

2.4 Aseton

Aseton adalah suatu senyawa keton yang paling sederhana. Nama lain dari aseton adalah propanon, dimetil keton, 2-propanon, propan-2-on, dan β -ketopropana. Rumus molekul aseton adalah CH_3COCH_3 . Aseton adalah larutan yang tak berwarna dan mudah menguap. Aseton mudah larut dalam air, etanol, eter. Aseton merupakan pelarut yang sangat penting. Kegunaan aseton antara lain sebagai pelarut plastik dan serat sintetis, pelarut polar dalam laboratorium, mengencerkan resin kaca serat, melarutkan resin epoksi dan lem sebelum mengeras, aseton juga dapat digunakan sebagai cairan pembersih untuk menghilangkan tinta permanen (Muhamad Irwan Setiadi, 2008).

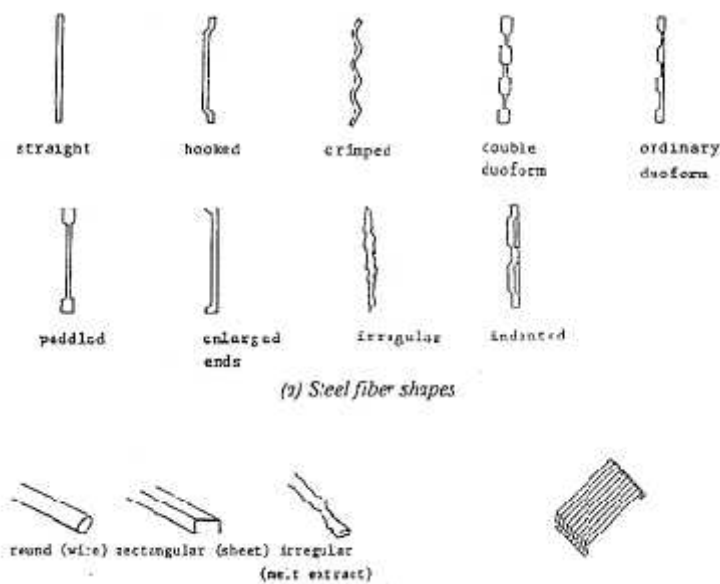
2.5 Serat Baja (*Steel Fibres*)

Serat baja (*Steel fibres*) dalam hal ini berupa potongan kawat bendrat memiliki kekuatan yang relatif tinggi dalam memikul beban tarik. Disamping itu *steel fibres* tidak mudah mengalami perubahan bentuk terhadap ikatan alkali semen, hanya saja serat ini tidak tahan terhadap korosi apabila tidak terlindungi dengan baik oleh beton (Aris Widodo, 2012). Konsep utama penambahan serat adalah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis beton, penambahan serat mampu membuat beton lebih tahan terhadap retak, meskipun tidak banyak menambah kuat tekan beton namun bisa meningkatkan daktilitas. (Gani M.S.J dalam Adi Saputra Hendri, 2011)

Serat baja merupakan Menurut Soroushian dan Bayasi (1991) dalam Ananta Ariatama (2007) ada beberapa jenis fiber baja yang biasa digunakan :

1. Bentuk fiber baja (*Steel Fiber Shapes*)
 - a. Lurus (*straight*)
 - b. Berkait (*hooked*)
 - c. Bergelombang (*crimped*)
 - d. *Double duo form*
 - e. *Ordinary duo form*
 - f. Bundel (*paddled*)
 - g. Kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*)
 - h. Tidak teratur (*irregular*)
 - i. Bergerigi (*indented*)
2. Penampang fiber baja (*Steel fiber cross section*)
 - a. Lingkaran/kawat (*round/wire*)
 - b. Persegi / lembaran (*rectangular / sheet*)
 - c. Tidak teratur / bentuk dilelehkan (*irregular / melt extract*)
3. Fiber dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fibers glued together into a bundle*)

Jenis dari fiber baja dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.1 Bentuk Dan Jenis-Jenis *Fiber Steel* (Serat Baja)

Sumber : Ananta Ariatama (2007)

Pada penelitian ini digunakan serat baja berkait (*hooked*). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ananta ariatama (2008) serat baja jenis *hooked* dengan $l/d=75$ mm mampu menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 58.63 MPa dan meningkat sebesar 14.67% dari beton normal. Selain itu, penelitian terkait penggunaan serat dengan jenis *hooked* yang dilakukan oleh Wasim Abbas *et al* (2017), beton dengan komposisi serat 0.5%, 1% dan 1.5% dengan panjang serat baja 60 mm dan diameter 0.75 mampu menghasilkan kuat tekan maksimum berturut-turut sebesar 86.6 MPa, 91.6 MPa, dan 93.8 MPa.

Penggunaan serat baja pada beton dengan campuran *Styrofoam* juga sudah banyak dilakukan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Slamet Prayitno, dkk (2016) melakukan penambahan 1% serat baja dan 20% *Styrofoam* mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 18,443 MPa sedangkan tanpa penambahan *Styrofoam* dan serat baja nilai kuat tekannya 17,55 MPa.

Elsa Septia Miranda, dkk., (2016) melakukan penelitian dengan penambahan butiran styrofoam 20% dari berat volume beton dan serat bendrat dengan variasi 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% berturut-turut adalah 17,74 MPa; 19,44 MPa; 20,67 MPa; 22,36 MPa dan 18,21 MPa. Dengan peningkatan kuat tekan berturut-turut 9,57%; 16,49%; 26,06% dan 2,66%.

2.6. Perbandingan Variabel Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Perbandingan penelitian terdahulu dan rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1. Perbandingan Variabel Beberapa Penelitian Terdahulu dengan Variabel Rencana Penelitian

Penelitian Terdahulu				
No.	Referensi	Parameter	Metode Pengujian	Hasil Penelitian
1.	Pengaruh Penggunaan <i>Styrofoam</i> Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton (Priyono dan Nadia, 2014)	a. Butiran <i>Styrofoam</i> ukuran 3-10 mm b. Kadar <i>Styrofoam</i> 1%, 2% dan 3%	Kuat tekan	<ul style="list-style-type: none"> • Volume beton ringan dengan campuran <i>stryofoam</i> dengan rincian campuran 1% (turun 13%) , 2% (turun 22%) , 3% (turun 32%). • Penambahan <i>stryofoam</i> pada beton menurunkan kuat tekan beton normal, untuk penambahan <i>Styrofoam</i> sebesar 1% terjadi penurunan 54%, 2% sebesar 57% dan 3% sebesar 87%.
2.	Penggunaan <i>Stereofoam</i> Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Untuk Mendapatkan Beton Ringan (Budhianto, 1997)	a. Butiran <i>Styrofoam</i> b. Kadar <i>Styrofoam</i> 0% ; 12,5% ; 25% ; 37,5% ; 50% ; 62,5% ; 75% ; 87,5% dan 100%	Kuat tekan dan Modulus Elastisitas	Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan <i>Styrofoam</i> dengan kadar 12,5% cukup representatif apabila digunakan sebagai beton struktural.
3.	Kajian Eksperimental Material Dan Elemen Dinding Beton Beragregat Kasar <i>Styrofoam</i> Dengan Lapisan <i>Coating</i> (Dedi Enda, dkk 2016)	a. Butiran <i>Styrofoam</i> ukuran maks. 2 cm dengan lapisan <i>coating</i> (85% semen + 15% <i>fly ash</i> + air) b. Rasio air semen 0.5, 0.6, 0.7 dan 0.8	Kuat tekan	<ul style="list-style-type: none"> • Berat isi beton alwa <i>styrofoam</i> 25%-30% lebih rendah dari beton normal. • Kuat tekan beton alwa <i>Styrofoam</i> meningkat seiring dengan berkurangnya faktor air semen, akan tetapi peningkatan kekuatannya tidak signifikan seperti pada kuat tekan beton normal. • Penggunaan agregat kasar <i>styrofoam</i> yang dilapisi <i>coating</i> dapat meningkatkan kekuatan tekan pada beton ringan.

No.	Referensi	Parameter	Metode Pengujian	Hasil Penelitian
4.	Pengaruh Penambahan <i>Styrofoam</i> dengan Pelarut Toluena terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan (Simamora dan Harahap, 2015)	a. <i>Styrofoam</i> dilarutkan dengan Toluena agar berikatan dengan semen b. Komposisi <i>Styrofoam</i> 12%, 14%, 16% dan 18%	Kuat tekan dan modulus elastisitas	<ul style="list-style-type: none"> Kuat tekan beton minimumnya yaitu pada penambahan <i>styrofoam</i> 20% dengan pelarut Toluena yaitu 16,6 MPa, sedangkan kuat tekan beton maksimum pada penambahan <i>styrofoam</i> 12% dengan pelarut Toluena yaitu 23,1 MPa. Dari hasil pengujian modulus elastisitas diperoleh yaitu peningkatan maksimum terjadi pada beton dengan penambahan <i>styrofoam</i> 20 % yaitu sebesar 4672 MPa, atau meningkat sebesar 21,2309 % dari beton dengan <i>styrofoam</i> 0%.
5.	<i>Partial Replacement Of Coarse Aggregates By Expanded Polystyrene Beads In Concrete</i> (Thomas thanut, 2014)	a. Butiran <i>Styrofoam</i> sebagai pengganti agregat kasar b. Komposisi <i>Styrofoam</i> 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%	Kuat tekan	Semakin tinggi jumlah <i>styrofoam</i> butiran dalam campuran beton, semakin rendah kekuatan tarik. Campuran dengan 15% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 80% dan 30% EPS memiliki kekuatan tarik relatif 70% jika dibandingkan dengan beton tanpa kasus EPS (<i>Expanded Polysterene</i>).
6.	Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat (Ananta ariatama, 2008)	Serat baja berkait dengan $l/d = 60, 75$ dan 90	Kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur	Kuat tekan beton yang optimal pada beton serat dengan $\emptyset 0,9$ mm dan panjang 67,5 ($l/d = 75$) mm pada umur 28 hari sebesar 58,63 MPa atau mengalami peningkatan 14,67 % dari beton normal.

No.	Referensi	Parameter	Metode Pengujian	Hasil Penelitian
7.	<i>Evaluation of Mechanical Properties of Steel fiber Reinforced Concrete With Different Strengths of Concrete</i> (Abbas, Wasim. Khan, M. Iqbal. dan Mourad, Shehab, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis serat baja hooked • Komposisi serat baja 0.5%, 1% dan 1.5% • w/c rasio 0.25, 0.35 dan 0.45. • Ukuran serat : $\varnothing 0.62$ mm dan panjang 40 mm ($l/d=65$ mm) $\varnothing 0.62$ mm dan panjang 50 mm ($l/d=80$ mm) $\varnothing 0.75$ mm dan panjang 50 mm ($l/d=65$ mm) • Ukuran benda uji: 100x200 mm untuk uji kuat tekan 150x150x600 mm untuk uji kuat lentur 150x300 mm untuk <i>direct tension test</i> 	Kuat tekan, kuat lentur dan <i>direct tension</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Beton dengan komposisi serat 0.5%, 1% dan 1.5% dengan panjang serat baja 60 mm dan diameter 0.75 mampu menghasilkan kuat tekan maksimum berturut-turut sebesar 86.6 MPa, 91.6 MPa, dan 93.8 MPa.
8.	Pengaruh Penambahan Serat Bendrat Dan <i>Styrofoam</i> Pada Beton Ringan Terhadap Kajian Kuat Tekan Dan Kuat Geser (Slamet Prayitno, 2016)	a. Butiran <i>Styrofoam</i> dengan komposisi 20% dan 40% b. Serat Bendrat dengan diameter 1 mm dan panjang 70 mm c. Kadar serat baja 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%	Kuat tekan dan kuat geser	Penambahan 1% serat baja dan 20% <i>Styrofoam</i> mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 18,443 MPa sedangkan tanpa penambahan <i>Styrofoam</i> dan serat baja nilai kuat tekannya 17,55 MPa.
9.	Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bendrat dan <i>Styrofoam</i> Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur (Elsa Miranda, dkk., 2016)	a. Butiran <i>Styrofoam</i> ukuran 3-10 mm dengan komposisi 20% b. Serat baja dibentuk seperti huruf Z c. Kadar serat baja 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%	Kuat tekan dan kuat lentur	Penambahan 1,5% serat baja yang dibentuk seperti huruf Z dan 20% <i>Styrofoam</i> mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 22,36 MPa sedangkan tanpa penambahan <i>Styrofoam</i> dan serat baja nilai kuat tekannya 17,74 MPa.

No.	Referensi	Parameter	Metode Pengujian	Hasil Penelitian
10.	Pengaruh Penggunaan Agregat Ringan Buatan (ALWA) Berbahan <i>Styrofoam</i> dengan Bahan Tambah Serat Baja Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan Beton (Meity Wulandari, 2018)	a. <i>Styrofoam</i> diberi larutan aseton dan dibentuk menjadi agregat ringan buatan yang bertekstur keras dan ringan b. Komposisi <i>tyrofoam</i> 0%, 15%, 50%, dan 100% dari agregat kasar (kerikil) c. Komposisi serat baja adalah 0%, 0,75% dan 1,5%. d. Diameter 0,8 mm dan panjang 0.6 mm ($l/d=75$ mm). e. Bentuk Serat baja <i>hooked</i>	Kuat Tekan, Kuat tarik belah, Kuat lentur, Modulus elastisitas	Beton dengan campuran ALWA <i>Styrofoam</i> dan penambahan serat baja mampu menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 28.5 MPa, yaitu pada komposisi 15% ALWA <i>Styrofoam</i> dan 1.5% Serat baja (B15F1.5).

BAB 3

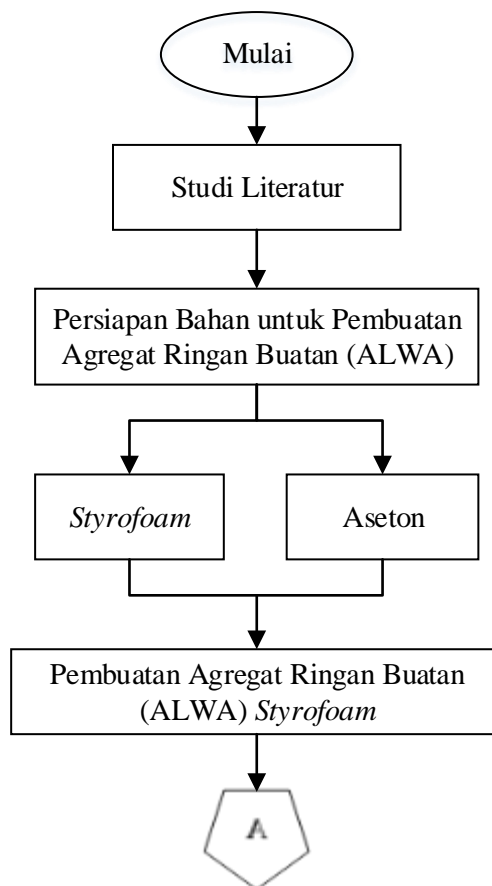
METODE PENELITIAN

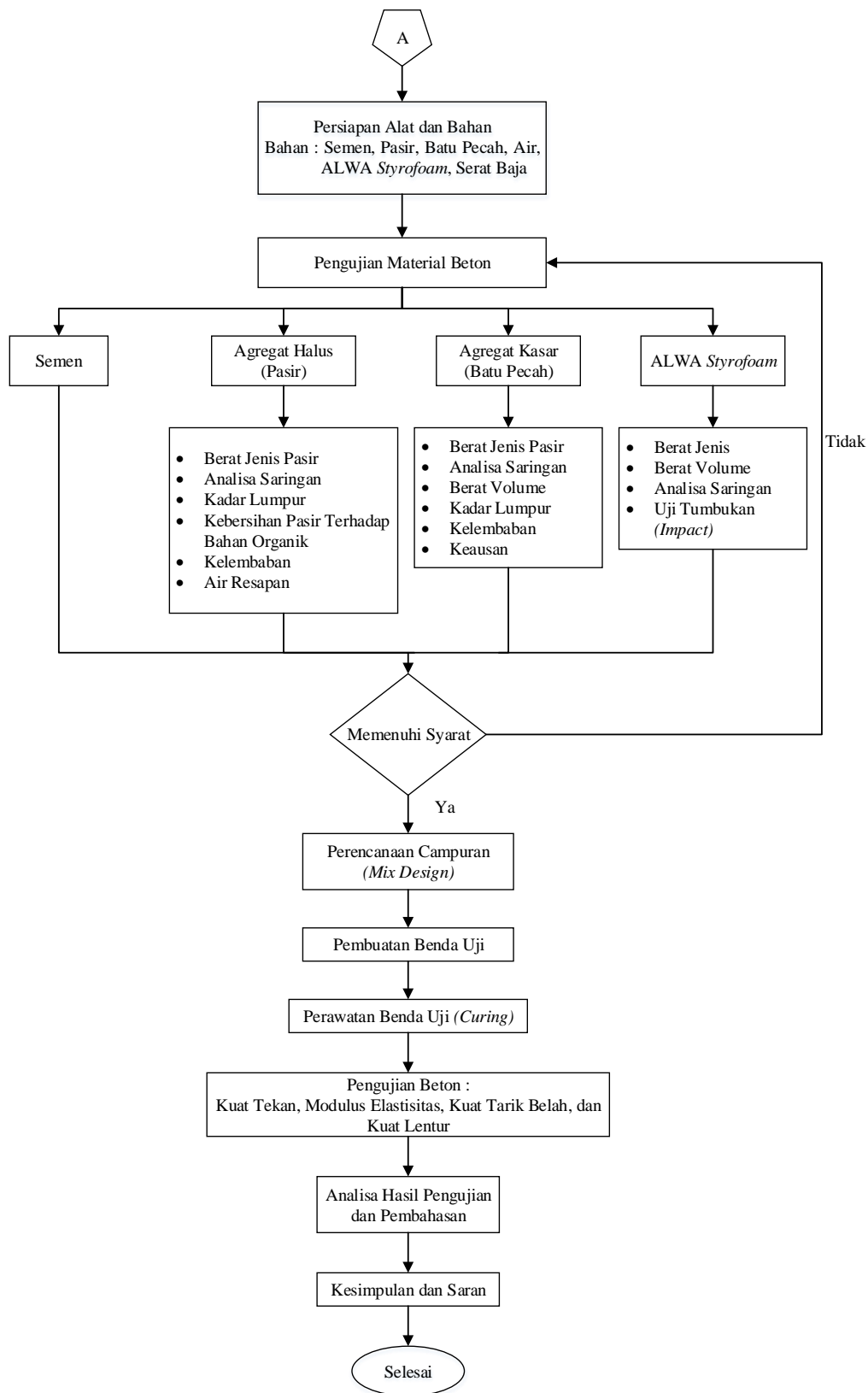
3.1 Umum

Penelitian ini menganalisis pengaruh penggunaan agregat ringan buatan (ALWA) berbahan *styrofoam* dengan bahan tambah serat baja pada beton ringan terhadap kuat tekan beton. Dalam hal ini akan dijelaskan karakteristik bahan atau material yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji serta langkah-langkah pengujian.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Tahap-tahap pada penelitian dimulai dari persiapan sampai pengambilan kesimpulan dan saran. Untuk tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir dibawah ini :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Studi Literatur

Literatur yang digunakan berupa jurnal, peraturan dan standar nasional maupun internasional yang berkaitan dengan penggunaan *Styrofoam* sebagai bahan untuk pembuatan agregat ringan buatan (ALWA) serta pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat tekan beton ringan struktural.

3.4 Pembuatan Agregat Ringan Buatan (ALWA)

Pembuatan agregat ringan buatan (ALWA) diawali dengan menyiapkan bahan yaitu *Styrofoam* dan larutan *acetone*. Langkah-langkah pembuatan agregat ringan buatan (ALWA) adalah sebagai berikut :

- a. *Styrofoam* yang digunakan merupakan limbah industri yang tidak didaur ulang. *Styrofoam* ini termasuk dalam jenis Expanded Polystyrene (EPS). *Styrofoam* yang berukuran besar dipotong terlebih dahulu menjadi ukuran lebih kecil agar mudah saat dilarutkan dengan *acetone*.



Gambar 3.2. Limbah *Styrofoam* dan Larutan Aseton

- b. Perbandingan campuran larutan *acetone* terhadap *Styrofoam* adalah 1:1,9. *Styrofoam* diberi larutan *acetone* sedikit demi sedikit, sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. *Styrofoam* yang sudah tercampur *acetone* kemudian dibentuk menjadi butiran dengan ukuran menyerupai agregat kasar sekitar 1 hingga 2 cm.
- c. Setelah berbentuk bulat, butiran ALWA *Styrofoam* direndam didalam air selama ± 3 hari agar ALWA cepat mengering dan teksturnya menjadi keras.



Gambar 3.3. Butiran ALWA *Styrofoam* yang direndam

- d. ALWA *Styrofoam* yang sudah direndam selama ± 3 hari ditiriskan kemudian diangin-anginkan agar ALWA *Styrofoam* menjadi kering. Bentuk ALWA *Styrofoam* yang sudah mengering ditunjukkan pada Gambar 3.7.

3.5 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk penyusun beton ringan adalah sebagai berikut :

- a. Semen

Semen yang digunakan adalah semen portland tipe 1 (PPC) merk Semen Gresik yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik



Gambar 3.4. Semen Gresik

- b. Agregat halus

Agregat halus berupa pasir yang berasal dari kabupaten Lumajang.



Gambar 3.5. Pasir Lumajang

c. Agregat kasar

Agregat kasar berupa Batu pecah dengan ukuran 20 mm.



Gambar 3.6. Batu Pecah Ukuran 20 mm

d. Agregat ringan buatan (ALWA)

Bahan yang digunakan untuk pembuatan ALWA adalah *Styrofoam* dan Aseton.



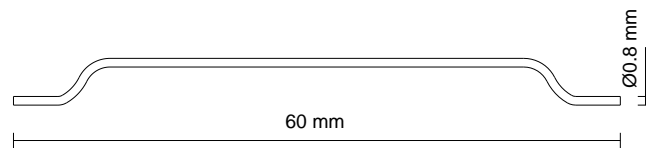
Gambar 3.7. ALWA *Styrofoam*

e. Serat Baja

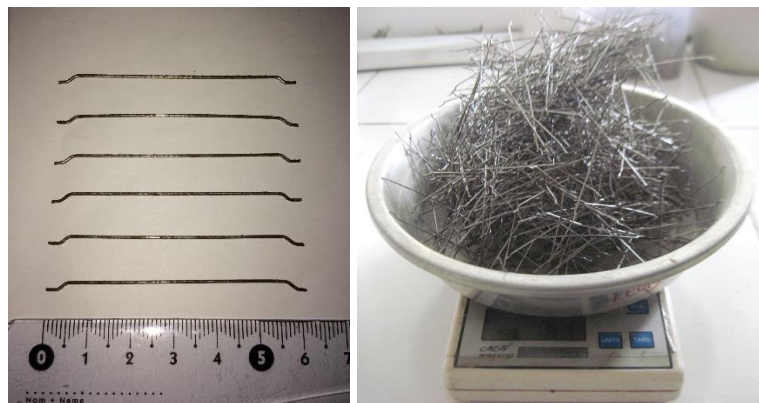
Serat baja yang digunakan yaitu jenis *hooked*. Spesifikasi serat baja jenis *hooked* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1. Spesifikasi Serat Baja *Hooked*

Diameter (mm)	Panjang (mm)	Kekuatan tarik (N/mm ²)	Aspek rasio (l/d)
0.8	60	1254	75 mm



Gambar 3.8. Spesifikasi Serat Baja



Gambar 3.9. Serat Baja Berkait (*Hooked*)

f. Air

Air yang digunakan untuk proses pembuatan benda uji berasal dari air PDAM.

3.6 Pengujian Bahan

3.6.1 Agregat Halus (Pasir)

1. Pengujian Berat Jenis (*Spesific gravity*) Pasir

Pengujian berat jenis agregat halus (pasir) mengacu pada standar standar ASTM C 128-01. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan berat jenis agregat halus yang akan digunakan untuk

proporsi campuran (*mix design*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat jenis pasir adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis pasir} = \frac{W_3}{W_3 + W_2 - W_1} \quad \dots(3.1)$$

dimana,

W_1 = berat *volumetric flask* berisi pasir dan air (gram)

W_2 = berat *volumetric flask* berisi air (gram)

W_3 = berat pasir dalam keadaan kering permukaan jenuh (500 gram)

2. Pengujian Analisa Saringan (*Sieve Analysis*) Pada Pasir

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 136-01. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan gradasi diameter butiran pasir sehingga memenuhi syarat menentukan modulus kehalusan pasir.

3. Pengujian Berat Isi

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 29/C 29M-97 (*Reapproved* 2003). Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan berat volume dalam agregat halus. Berat isi dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{W_4}{V} \text{ (kg/lt)} \quad \dots(3.2)$$

dimana,

W_1 = berat wadah

W_2 = berat wadah dan isi

W_3 = berat wadah dan air

W_4 = $(W_2 - W_1)$ = berat benda uji

V = kapasitas wadah (lt)

4. Pengujian Kadar Lumpur Pada Pasir

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 117-03. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir.

Kadar lumpur dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$Kadar\ lumpur\ pasir = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \dots(3.3)$$

dimana,

W_1 = berat awal agregat sebelum dicuci (gram)

W_2 = berat agregat setelah dicuci (gram)

5. Pengujian Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 40-04. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar organik dalam pasir yang akan digunakan dalam campuran beton. Prosedur pelaksanaan pengujian ini adalah sebagai berikut :

- a. Botol yang sudah disiapkan diisi pasir setinggi ± 3 cm (130 cc).
- b. Kemudian tambahkan larutan NaOH 3% sebanyak 200 cc.
- c. Tutup rapat kemudian botol dikocok ± 10 menit.
- d. Diamkan botol selama 24 jam.
- e. Setelah 24 jam, amati warna cairan diatas pasir yang terdapat dalam botol. Jika warna yang terlihat diatas pasir gelap (cokelat) dari warna standar maka pasir memiliki kadar zat organik yang sangat tinggi.

6. Pengujian Kelembaban Pasir

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 566-97. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kelembaban pasir dengan cara kering. Persamaan yang digunakan untuk menentukan kelembaban pasir adalah sebagai berikut :

$$Kelembaban\ Pasir = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \dots(3.4)$$

Dimana,

W_1 = berat pasir kering oven (gram)

W_2 = berat pasir kering asli (gram)

7. Pengujian Air Resapan Pada Pasir

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 128-01. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui perbandingan antar berat air yang diserap dengan berat pasir kering, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Absorption = \frac{S - A}{A} \times 100\% \quad \dots(3.5)$$

dimana :

A = berat pasir kering oven (gram)

S = berat pasir dalam keadaan kering permukaan jenuh (500 gram)

3.6.2 Agregat Kasar (Batu pecah)

1. Pengujian Berat Jenis Batu pecah

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 127-01. Tujuan pengujian ini adalah untuk berat jenis agregat dalam kondisi kering oven dan kondisi kering oven yang digunakan dalam pembuatan desain benda uji (*mix design*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat jenis Batu pecah adalah sebagai berikut :

$$Berat\ jenis\ kerikil = \frac{W_2}{W_2 - W_1} \quad \dots(3.6)$$

dimana,

W_1 = berat Batu pecah dalam air (gram)

W_2 = berat Batu pecah di udara (gram)

2. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 136-01. Tujuan pengujian ini adalah untuk untuk mendapatkan proporsi dari

macam-macam ukuran butir dan agregat kasar (Batu pecah) agar gradasi yang dikandung harus memenuhi syarat.

3. Pengujian Berat Volume Batu pecah

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 29/C 29M-97 (*Reapproved* 2003). Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan berat volume batu pecah atau Batu pecah dalam keadaan lepas dan dalam keadaan padat.

$$\text{Berat volume kerikil} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad \dots(3.7)$$

dimana,

W_1 = berat tabung (kg)

W_2 = berat tabung dan Batu pecah (kg)

V = volume (ltr)

4. Pengujian Kadar Lumpur Pada Batu pecah

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 33-03. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar lumpur pada Batu pecah. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar lumpur Batu pecah adalah sebagai berikut :

$$\text{Kadar lumpur Batu pecah} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad \dots(3.8)$$

dimana,

w_1 = berat awal Batu pecah sebelum dicuci (gram)

w_2 = berat Batu pecah kering setelah dicuci (gram)

5. Pengujian Kelembaban Batu pecah

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 566-97. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kelembaban Batu pecah dengan cara kering. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kelembaban Batu pecah adalah sebagai berikut :

$$\text{Kelembaban kerikil} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad \dots(3.9)$$

dimana,

W_1 = berat kering oven Batu pecah (gram)

W_2 = berat Batu pecah kondisi kering (gram)

6. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 131-03. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui keausan Batu pecah dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung keausan agregat kasar (Batu pecah) adalah sebagai berikut :

$$\text{Keausan kerikil} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad \dots(3.10)$$

dimana,

W_1 = berat Batu pecah setelah diabrasi (gram)

W_2 = berat Batu pecah sebelum diabrasi (gram)

7. Pengujian Air Resapan Pada Batu pecah

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 127-01. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui air resapan pada Batu pecah. Persamaan yang digunakan untuk menghitung sebagai berikut :

$$\text{Absorption} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad \dots(3.11)$$

dimana,

W_1 = berat Batu pecah kering oven (gram)

W_2 = berat Batu pecah dalam keadaan kering (3000 gram)

3.6.3 ALWA Styrofoam

Pengujian agregat ringan buatan (ALWA) mengacu pada standar ASTM C 330-04. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui spesifikasi dari ALWA *Styrofoam* yang nantinya digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Pengujian ALWA *Styrofoam* meliputi:

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 127-01. Tujuan pengujian ini adalah untuk berat jenis agregat dalam kondisi kering oven dan kondisi kering oven yang digunakan dalam pembuatan desain benda uji (*mix design*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat jenis Batu pecah adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis ALWA} = \frac{W_2}{W_2 - W_1} \quad \dots(3.12)$$

dimana,

W_1 = berat ALWA *Styrofoam* dalam air (gram)

W_2 = berat ALWA *Styrofoam* di udara (gram)

2. Pengujian Berat Volume

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 29/C 29M-97 (*Reapproved* 2003). Tujuan pengujian ini adalah untuk untuk menentukan berat volume batu pecah atau Batu pecah dalam keadaan lepas dan dalam keadaan padat.

$$\text{Berat volume ALWA Styrofoam} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad \dots(3.13)$$

dimana,

W_1 = berat tabung (kg)

W_2 = berat tabung dan ALWA *Styrofoam* (kg)

V = volume (ltr)

3. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 136-01. Tujuan pengujian ini adalah untuk untuk mendapatkan proporsi dari

macam-macam ukuran butir ALWA *Styrofoam* agar gradasi yang dikandung harus memenuhi syarat.

4. Pengujian Kekuatan Tumbukan (*Impact value*)

Pengujian ini mengacu pada British standard 812-112:1990. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan relative agregat terhadap tumbukan (*impact*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung *Aggregate Impact Value* (AIV) adalah sebagai berikut :

$$AIV = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad \dots(3.14)$$

dimana,

AIV = *Aggregate Impact Value* (%)

M₁ = berat agregat sebelum diuji (kg)

M₂ = berat agregat setelah diuji (kg)

3.7 Proporsi Campuran (*Mix Design*) Benda Uji

Perencanaan proporsi campuran beton mengacu pada SNI T-15-1990-03 yang dikenal dengan metode DOE (*Development Of Environment*). Adapun langkah-langkah dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) dengan metode DOE (*Development Of Environment*) adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kuat tekan rencana beton pada usia 28 hari.
2. Menentukan deviasi standar.
3. Menghitung nilai faktor air semen (fas).
4. Menghitung kadar semen yang dibutuhkan
5. Menghitung prosentase agregat gabungan
6. Mencari jumlah agregat yang dipakai
7. Mencari perbandingan bahan untuk 1 m³ beton dalam keadaan agregat berkadar air sesuai kondisi lapangan.

3.8 Pembuatan Benda Uji

Setelah proses pengujian bahan selesai dan memenuhi syarat maka dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji ini dibuat berdasarkan hasil *mix design*. Bentuk benda uji untuk penelitian ini adalah silinder dengan ukuran 100 x 200 mm. Variasi benda uji kuat tekan dijabarkan pada Tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1. Variasi Benda Uji

No.	Komposisi Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji		
			Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	Kuat Lentur
1	0% <i>Fiber Steel</i> + 0% ALWA Styrofoam	BF0	3	3	2
2	0% <i>Fiber Steel</i> + 15% ALWA Styrofoam	BF15	3	3	
3	0% <i>Fiber Steel</i> + 50% ALWA Styrofoam	BF50	3	3	
4	0% <i>Fiber Steel</i> + 100% ALWA Styrofoam	BF100	3	3	
5	0,75% <i>Fiber Steel</i> + 0% ALWA Styrofoam	B0F0.75	3	3	
6	0,75% <i>Fiber Steel</i> + 15% ALWA Styrofoam	B15F0.75	3	3	
7	0,75% <i>Fiber Steel</i> + 50% ALWA Styrofoam	B50F0.75	3	3	
8	0,75% <i>Fiber Steel</i> + 100% ALWA Styrofoam	B100F0.75	3	3	
9	1,5% <i>Fiber Steel</i> + 0% ALWA Styrofoam	B0F1.5	3	3	
10	1,5% <i>Fiber Steel</i> + 15% ALWA Styrofoam	B15F1.5	3	3	
11	1,5% <i>Fiber Steel</i> + 50% ALWA Styrofoam	B50F1.5	3	3	
12	1,5% <i>Fiber Steel</i> + 100% ALWA Styrofoam	B100F1.5	3	3	
Total Benda Uji			36	36	2

Keterangan : Komposisi ALWA Styrofoam dan serat baja untuk benda uji kuat lentur diambil dari hasil uji kuat tekan yang paling optimum.

Benda uji untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah menggunakan silinder ukuran 100 x 200 mm. Sedangkan, untuk uji kuat lentur digunakan balok ukuran 150 x 150 x 600 mm.

Adapun langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Bahan-bahan yang digunakan untuk campuran beton dipersiapkan terlebih dahulu. Selanjutnya adalah menimbang bahan-bahan sesuai dengan perhitungan rancangan benda uji.
2. Menyiapkan mesin pemutar (molen) yang akan digunakan. Molen harus dalam keadaan bersih dan kering.
3. Menyiapkan cetakan silinder ukuran 100x200 mm dan bekisting balok berukuran 150 x 150 x 550 mm.
4. Agregat kasar (batu pecah), ALWA *Styrofoam*, agregat halus (pasir) dan serat baja dicampur terlebih dahulu sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan.
5. Selanjutnya semen dimasukkan dalam keadaan molen sedang berputar.
6. Masukkan air sesuai dengan takaran.
7. Setelah diputar selama ± 3 menit, adukan beton dituang ke dalam wadah yang telah disediakan. Kemudian dilanjutkan untuk memeriksa nilai *slump*. Apabila hasil *slump test* memenuhi syarat maka adukan beton dimasukkan kedalam cetakan silinder.
8. Masukkan adukan beton kedalam cetakan silinder kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali dan pada bagian luar cetakan diketuk-ketuk menggunakan palu agar tidak terdapat gelembung-gelembung udara didalam adukan beton. Proses pemadatan dilakukan sebanyak 3 kali sampai cetakan terisi penuh. Kemudian bagian permukaan silinder diratakan menggunakan agar permukaannya merata.

3.9 Perawatan (*Curing*) Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara perendaman. Perawatan beton ini bertujuan untuk menjamin proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan sempurna, sehingga retak-retak pada permukaan beton dapat dihindari serta mutu beton yang diinginkan dapat tercapai. Selain itu kelembaban permukaan beton juga dapat menambah ketahanan beton terhadap pengaruh cuaca dan lebih kedap air. Adapun cara perendamannya adalah sebagai berikut:

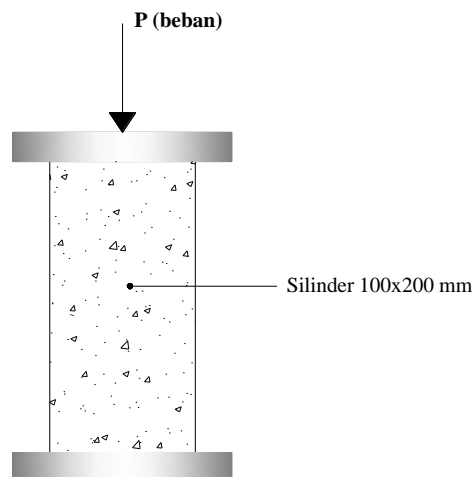
1. Setelah 24 jam maka cetakan beton silinder dibuka, kemudian ditimbang untuk mengetahui beratnya dan diberi nama.

2. Lalu sampel beton direndam sampai umur beton 28 hari.

3.10 Pengujian Kekuatan Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Prosedur pengujian kuat tekan beton mengacu pada standar ASTM C 39/C39M-03. Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan adalah UTM (*Universal Testing Machine*). Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tekan hancur dari benda uji. Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian diangin-anginkan hingga permukaannya kering.
2. Sebelum diuji benda uji ditimbang terlebih dahulu kemudian diatas permukaan sampel benda uji diberi tutup kepala (*capping*) agar permukaan yang akan dibebani menjadi rata dan pembebanan merata pada seluruh permukaan.
3. Letakkan silinder beton pada mesin uji tekan dengan posisi tegak dan sentries. Mesin dijalankan dengan pembebanan yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai silinder beton hancur, kemudian hasil pembebanan maksimum dicatat.



Gambar 3.10. Model *Specimen* Pengujian Kekuatan Tekan Silinder Beton.

Kekuatan beton dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut,

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.15)$$

dimana :

f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

P = beban runtuh yang di terima benda uji (N)

A = luas penampang benda uji (mm)

3.11 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Pengujian modulus elastisitas bersamaan dengan pengujian kekuatan tekan beton. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Menurut ACI 318-08 nilai Modulus elastisitas (E_c) didefinisikan sebagai kemiringan garis yang ditarik dari tegangan awal ke tegangan $0.45f'_c$. Sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung Modulus elastisitas (E_c) adalah sebagai berikut :

$$E_c = \frac{0.45f_c}{\epsilon 0.45f_c} \quad (3.16)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

$0.45f'_c$ = 45% dari tegangan maksimum (MPa)

$\epsilon 0.45f'_c$ = regangan saat tegangan 45%

Untuk perhitungan modulus elastisitas secara teoritis digunakan persamaan sebagai berikut,

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.17)$$

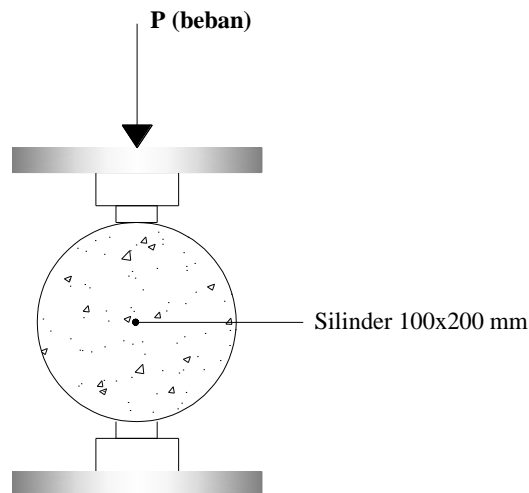
E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

f'_c = tegangan maksimum (MPa)

3.12 Pengujian Kuat Tarik Belah

Prosedur pengujian kuat tarik belah (*splitting*) beton mengacu pada standar ASTM C 496/C 496-04. Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tarik belah adalah CTM (*Compression Testing Machine*). Adapun langkah pengujian kuat tarik belah adalah sebagai berikut :

1. Letakkan benda uji silinder beton pada arah memanjang pada mesin CTM (*Compression Testing Machine*).
2. Mesin dijalankan dengan pembebanan yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai silinder beton terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung.
3. Kemudian hasil pembebanan maksimum dicatat.



Gambar 3.11. Model *Specimen* Pengujian Kekuatan Tarik Belah Silinder Beton.

Kekuatan tarik belah dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut,

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (3.18)$$

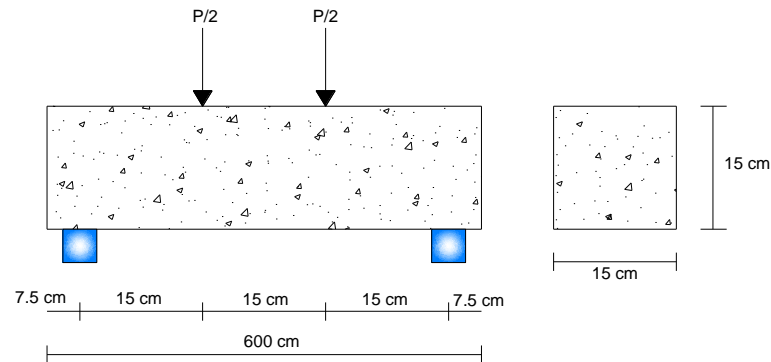
dimana,

- f_{ct} = kekuatan tarik belah (MPa)
 P = beban runtuh yang diterima benda uji (N)
 l = panjang benda uji silinder beton (mm)
 d = diameter benda uji silinder beton (mm)

3.13 Pengujian Kuat Lentur

Prosedur pengujian kuat lentur (*flexural strength*) mengacu pada standar ASTM C 78-02. Adapun langkah pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut :

1. *Sample* benda uji diletakkan pada posisi simetris terhadap *bearing block*.
2. Lakukan pembebanan dimana posisi balok berada tepat ditengah antara dua perletakan.
3. Pembebanan dilakukan secara kontinu, sampai balok mengalami retak atau runtuh.
4. Tentukan posisi retak pada *sample* benda uji.



Gambar 3.12. Model *Specimen* Pengujian Kuat Lentur

Dari hasil pengujian kekuatan lentur diperoleh nilai P_{cr} pada saat balok mengalami retak pertama (*first crack*) dan P_{maks} saat balok mencapai beban maksimum. Sehingga modulus keruntuhan (f_r) dari hasil pengujian kekuatan lentur dihitung dengan persamaan sebagai berikut,

$$M_{cr} = \frac{P_{cr}}{2} \times \frac{L}{3} \quad (3.19)$$

$$f_r = \frac{M_{cr} \times y}{I} \quad (3.20)$$

$$M_{maks} = \frac{P_{maks}}{2} \times \frac{L}{3} \quad (3.21)$$

$$f_r = \frac{M_{maks} \times y}{I} \quad (3.22)$$

dimana,

f_r = modulus keruntuhan (MPa)

M_{cr} = momen *crack* (N.mm)

M_{maks} = momen maksimum (N.mm)

P_{cr} = beban retak pertama (kg)

P_{maks} = beban maksimum (kg)

L = panjang balok (mm)

h = tinggi balok (mm)

y = $\frac{1}{2}$ tinggi balok (mm)

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Hasil penelitian yang diperoleh dari masing-masing pengujian akan dibahas pada bab ini. Hasil pengujian dikelompokkan menjadi dua yaitu hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat dan hasil pengujian sifat mekanik beton yang meliputi kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur. Data-data yang telah diperoleh kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian. Untuk memudahkan analisis, data-data pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

4.2. Hasil Pengujian Sifat-sifat Fisis Agregat

4.2.1. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus (pasir) yang digunakan dalam pengujian adalah pasir Lumajang. Berikut ini adalah hasil pengujian dari agregat halus (pasir) :

4.2.1.1. Pengujian Berat Jenis Pasir

Hasil pengujian berat jenis pasir dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1. Berat Jenis Agregat Halus (Pasir)

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat <i>volumetric flask</i> + Pasir + Air (W_1)	953.05	949.7	gram
Berat <i>volumetric flask</i> + Air (W_2)	639.7	639.7	gram
Berat pasir SSD (W_3)	500	500	gram
Berat jenis = $W_3/(W_3+W_2-W_1)$	2.68	2.63	gram/cm ³
Rata-rata	2.66		gram/cm ³

Berat jenis pasir yang disyaratkan ASTM C 128-01 sebesar 2,4 gram/cm³ hingga 2,7 gram/cm³. Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis pasir rata-rata sebesar 2,66 gram/cm³ sehingga dari hasil pengujian tersebut, pasir yang digunakan sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan ASTM.

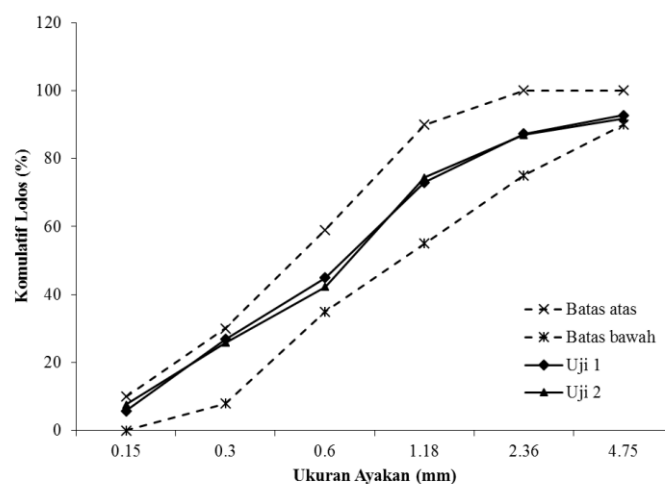
4.2.1.2. Pengujian Analisis Saringan Pada Pasir

Hasil pengujian analisis saringan pada pasir dapat dilihat pada Tabel 4.2. dibawah ini :

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Analisis Saringan

No. dan Ukuran Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan		Komulatif		Tertahan		Komulatif	
	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)
No. 4 (4.75 mm)	72.5	7.25	7.25	92.75	82.4	8.24	8.24	91.76
No. 8 (2.36 mm)	55.2	5.52	12.77	87.23	48	4.8	13.04	86.96
No. 16 (1.18 mm)	142	14.20	26.97	73.03	125.6	12.6	25.60	74.40
No. 30 (0.6 mm)	280.8	28.08	55.05	44.95	321.2	32.1	57.72	42.28
No. 50 (0.3 mm)	181	18.10	73.15	26.85	164.4	16.4	74.16	25.84
No. 100 (0.15 mm)	210	21.00	94.15	5.85	182.4	18.2	92.40	7.60
PAN	58.5	5.85			76.2	7.62		
Jumlah	1000	100	269.34		1000	100	271.16	
FM			2.69				2.71	

Grafik analisis saringan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1. Analisis Saringan Pasir Zona Gradasi 2

Pasir yang digunakan dalam campuran beton harus memiliki gradasi yang baik dan harus masuk ke dalam zona susunan gradasi. Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pasir yang digunakan masuk dalam zona gradasi 2 dan memiliki nilai modulus kehalusan (FM) rata-rata sebesar 2.73. Syarat modulus kehalusan menurut SII 0052-08 berkisar antara 1.5-3.8 sehingga nilai modulus kehalusan dari hasil pengujian sudah memenuhi syarat.

4.2.1.3. Pengujian Berat Isi Pada Pasir

Hasil pengujian berat isi pada pasir dapat dilihat pada Tabel 4.3. dibawah ini :

Tabel 4.3. Berat Isi Pada Pasir

Pemeriksaan	dengan Rojokan		Tanpa Rojokan		Satuan
	Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2	
Berat wadah (W_1)	3.9	3.9	3.9	3.9	kg
Berat wadah + agregat (W_2)	8.4	8.25	7.8	7.6	kg
Berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$)	4.5	4.35	3.9	3.7	kg
Kapasitas wadah (V)	0.003	0.003	0.003	0.003	kg/m ³
Berat isi agregat (W_3/V)	1500	1450	1300	1233	kg/m ³
Berat isi agregat rata-rata	1475		1267		kg/m ³

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai berat isi rata-rata dengan rojokan sebesar 1475 kg/m³. Sedangkan nilai berat isi tanpa rojokan adalah sebesar 1267 kg/m³.

4.2.1.4. Pengujian Kadar Lumpur Pada Pasir

Hasil pengujian kadar lumpur pada pasir dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4. Pengujian Kadar Lumpur Pada Pasir

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat awal agregat sebelum dicuci (W_1)	500	500	gram
Berat awal agregat setelah dicuci (W_2)	482.3	482.5	gram
Kadar lumpur pasir $((W_1 - W_2)/W_1) \times 100\%$	3.54	3.5	%
Rata-rata	3.52		%

Hasil pengujian kadar lumpur rata-rata pada pasir sebesar 3.52%. Nilai tersebut sudah memenuhi syarat yang telah ditentukan ASTM C 117-03, karena tidak melebihi batas maksimum yang telah disyaratkan yaitu sebesar 5%.

4.2.1.5. Pengujian Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik

Berikut ini adalah hasil pengujian pasir terhadap bahan organik :

Tabel 4.5. Hasil pengujian kebersihan pasir terhadap bahan organik

Pemeriksaan	Uji 1	Satuan
Berat agregat halus	130	ml
Berat larutan NaOH	70	ml
Warna larutan NaOH diatas pasir	No. 3	



Gambar 4.2. Hasil Pengujian Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik

Standar warna pada *organic plate* yang ditetapkan ASTM C 40-04 adalah no. 3. Hasil pengujian pasir terhadap bahan organik menggunakan standar warna

organic plate, perubahan warna yang terjadi pada sample setelah 1x24 jam termasuk dalam kategori No. 3 yaitu kuning tua sehingga pasir dapat langsung digunakan tanpa harus dicuci terlebih dahulu. Warna larutan NaOH diatas pasir sesuai dengan standar ASTM sehingga pasir layak digunakan.

4.2.1.6. Pengujian Kelembaban Pasir

Hasil pengujian kelembaban pasir dapat dilihat pada Tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6. Pengujian Kelembaban Pada Pasir

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat pasir kering oven (W_1)	479.6	479.4	gram
Berat pasir kering asli (W_2)	500	500	gram
Kelembaban pasir ($((W_2 - W_1)/W_2) \times 100\%$)	4.25	4.30	%
Rata-rata	4.28		%

Hasil pengujian kelembaban rata-rata pada pasir sebesar 4.28%. Syarat yang ditentukan oleh ASTM C 566-97 (Re.04) untuk kelembaban pasir tidak lebih dari 0.1%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa tingkat kelembaban pada pasir masih tinggi karena nilainya melebihi syarat yang telah ditetapkan.

4.2.1.7. Pengujian Air Resapan Pada Pasir

Hasil pengujian air resapan pada pasir dapat dilihat pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7. Pengujian Air Resapan Pada Pasir

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat pasir kering oven (A)	492.9	492.4	gram
Berat pasir kering asli (S)	500	500	gram
Air resapan ($((S - A)/A) \times 100\%$)	1.44	1.54	%
Rata-rata	1.49		%

Nilai air resapan yang ditentukan oleh ASTM C128-01 antara 1% sampai 4%. Hasil pengujian air resapan rata-rata sebesar 1.49% sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditetapkan ASTM C128-01 karena tidak lebih dari 4%.

4.2.2. Agregat Kasar (Batu pecah)

Berikut ini adalah hasil pengujian sifat-sifat fisis dari agregat kasar (batu pecah) :

4.2.2.1. Pengujian Berat Jenis Batu pecah

Hasil pengujian berat jenis batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Berat Jenis Pada Batu pecah

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat batu pecah dalam air (W_1)	1249	1225	gram
Berat batu pecah kondisi SSD (W_2)	2000	2000	gram
Berat jenis batu pecah = $W_2/(W_2-W_1)$	2.66	2.58	gram/cm ³
Rata-rata	2.62		gram/cm ³

Berat jenis agregat kasar yang disyaratkan ASTM C 127-01 sebesar 2,4 gram/cm³ hingga 2,7 gram/cm³. Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis batu pecah rata-rata sebesar 2,62 gram/cm³ sehingga dari hasil pengujian tersebut, batu pecah yang digunakan sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan ASTM.

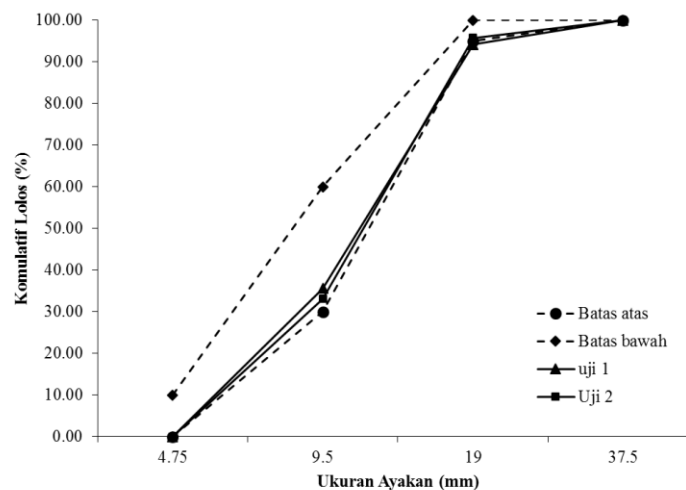
4.2.2.2. Pengujian Analisis Saringan Pada Batu pecah

Hasil pengujian analisis saringan pada batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini :

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Analisis Saringan Pada Batu pecah

No. dan Ukuran Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan		Komulatif		Tertahan		Komulatif	
	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)
1 1/2" (37.5 mm)	0	0	0	100	0	0	0	100
3/4" (19.0 mm)	58	5.8	5.80	94.20	41.8	4.18	4.18	95.82
3/8" (9.5 mm)	586	58.6	64.42	35.58	627	62.7	66.92	33.08
No.4 (4.75 mm)	356	35.6	100	0	331	33.1	100.00	0
No.8 (2.38 mm)	0	0	100		0	0	100.00	
No. 16 (1.1 mm)	0	0	100		0	0	100.00	
No. 30 (0.59 mm)	0	0	100		0	0	100.00	
No. 50 (0.297 mm)	0	0	100		0	0	100.00	
No. 100 (0.149 mm)	0	0	100		0	0	100.00	
PAN	0	0			0	0		
Jumlah	1000		670.22		1000		671.10	
FM			6.70				6.71	

Berdasarkan hasil analisis saringan, batu pecah yang digunakan masuk dalam batas gradasi batu pecah ukuran maksimum 20 mm. Grafik analisis saringan dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.3. Analisis Saringan Batu pecah Ukuran Maksimum 20 mm

Batu pecah yang digunakan dalam campuran beton harus memiliki gradasi yang baik dan harus masuk ke dalam zona susunan gradasi. Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa batu pecah yang digunakan masuk dalam susunan gradasi untuk

ukuran batu pecah maksimum 20 mm dan memiliki nilai modulus kehalusan (FM) rata-rata sebesar 6.43. Syarat modulus kehalusan menurut SII-0052-08 berkisar antara 6.0-7.1 sehingga nilai modulus kehalusan dari hasil pengujian sudah memenuhi syarat.

4.2.2.3. Pengujian Berat Volume Pada Batu pecah

Hasil pengujian berat volume pada batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.10 dibawah ini :

Tabel 4.10. Pengujian Berat Isi Pada Batu pecah

Pemeriksaan	Tanpa Rojokan		dengan Rojokan		Satuan
	Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2	
Berat wadah (W_1)	3.9	3.9	3.9	3.9	kg
Berat wadah + agregat (W_2)	7.8	7.9	8.5	8.65	kg
Berat benda uji ($W_3=W_2-W_1$)	3.9	4	4.6	4.75	kg
Kapasitas wadah (V)	0.003	0.003	0.003	0.003	kg/m ³
Berat isi agregat (W_3/V)	1300	1333	1533	1583	kg/m ³
Berat isi agregat rata-rata	1317		1558		kg/m ³

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh berat isi rata-rata dengan rojokan adalah sebesar 1558 kg/m³ Sedangkan nilai berat isi tanpa rojokan adalah sebesar 1317 kg/m³.

4.2.2.4. Pengujian Kadar Lumpur Pada Batu pecah

Hasil pengujian kadar lumpur dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini :

Tabel 4.11. Pengujian Kadar Lumpur Pada Batu pecah

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat awal agregat sebelum dicuci (W_1)	1000	1000	gram
Berat awal agregat setelah dicuci (W_2)	995	995.6	gram
Kadar lumpur pasir ($(W_1-W_2)/W_1 \times 100\%$)	0.5	0.44	%
Rata-rata	0.47		%

Hasil pengujian kadar lumpur rata-rata pada pasir sebesar 0.47%. Syarat yang telah ditentukan oleh ASTM C 33-03 adalah tidak boleh lebih dari 1% sehingga hasil pengujian kadar lumpur tersebut sudah memenuhi syarat yang sudah ditentukan.

4.2.2.5. Pengujian Kelembaban Pada Batu pecah

Hasil pengujian kelembaban pada batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini :

Tabel 4.12. Pengujian Kelembaban Batu pecah

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat pasir kering asli (W_1)	500	500	gram
Berat pasir kering oven (W_2)	497	495.6	gram
Kelembaban pasir $((W_1 - W_2)/W_1) \times 100\%$	0.60	0.88	%
Rata-rata	0.74		%

Hasil pengujian kelembaban rata-rata pada batu pecah sebesar 0.74%. Syarat yang ditentukan oleh ASTM C 566-97 (Re.04) untuk kelembaban batu pecah tidak lebih dari 0.1%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa tingkat kelembaban pada batu pecah masih tinggi karena nilainya melebihi syarat yang telah ditetapkan.

4.2.2.6. Pengujian Keausan Agregat

Hasil pengujian keausan agregat dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini:

Tabel 4.13. Pengujian Keausan Agregat Kasar (Batu pecah)

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat kerikil sebelum diabrasi (W_2)	5000	5000	gram
Berat kerikil setelah diabrasi (W_1)	3972.5	3825.6	gram
Keausan kerikil $((W_2 - W_1))/W_2 \times 100\%$	20.55	23.49	%
Rata-rata	22.02		%

Syarat yang ditentukan ASTM C 131-03, tingkat keausan batu pecah tidak boleh lebih dari 35%. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa keausan batu pecah sebesar 20.02%, sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditetapkan.

4.2.2.7. Pengujian Air Resapan Pada Batu pecah

Hasil pengujian air resapan pada batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.14 dibawah ini :

Tabel 4.14. Pengujian Air Resapan Pada Batu pecah

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat pasir kering oven (A)	986.5	985.8	gram
Berat pasir kering asli (S)	1000	1000	gram
Kelembaban pasir $((S-A)/A) \times 100\%$	1.37	1.44	%
Rata-rata	1.40		%

Nilai air resapan yang ditentukan oleh ASTM C127-01 antara 1% sampai 2%. Hasil pengujian air resapan rata-rata adalah sebesar 1.4% sehingga sudah memenuhi syarat yang telah ditetapkan.

4.2.2.8. Pengujian Kekuatan Batu Pecah terhadap Tumbukan (*Impact Value*)

Hasil pengujian air resapan pada batu pecah dapat dilihat pada Tabel 4.15 dibawah ini :

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Kekuatan Tumbukan (*Impact*) Pada Batu Pecah

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat wadah	3065	3065	gram
Berat wadah + agregat	3732	3732	gram
kerikil tertahan ayakan no.8	590	586	gram
AIV (<i>Aggregate Impact Value</i>)	11.54	12.14	%
Rata-rata	11.84		%

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tumbukan pada batu pecah diperoleh nilai AIV rata-rata sebesar 11.84%. Menurut British standard 812-112:1990, nilai AIV tidak boleh lebih dari 30% sehingga sudah memenuhi syarat yang ditentukan.

4.2.3. Hasil Pengujian ALWA Styrofoam

4.2.3.1. Pengujian Berat Jenis ALWA Styrofoam

Hasil pengujian berat jenis ALWA Styrofoam dapat dilihat pada Tabel 4.16 dibawah ini :

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Berat Jenis ALWA Styrofoam

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat ALWA Styrofoam (W_1)	25	25	gram
Berat wadah + Air (W_2)	1798	1798	gram
Berat wadah + Air + ALWA Styrofoam (W_3)	1789	1787	gram
Berat jenis	0.74	0.69	gram/cm ³
Berat jenis rata-rata	0.71		gram/cm ³

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis rata-rata ALWA Styrofoam adalah sebesar 0.71 gram/cm³.

4.2.3.2. Pengujian Berat Isi ALWA Styrofoam

Hasil pengujian berat isi ALWA Styrofoam dapat dilihat pada Tabel 4.17 dibawah ini :

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Berat Isi ALWA *Styrofoam*

Pemeriksaan	dengan Rojokan		Tanpa Rojokan		Satuan
	Uji 1	Uji 2	Uji 1	Uji 2	
Berat jenis agregat (A)	0.71	0.71	0.71	0.71	kg/m ³
Berat isi air (W)	998	998	998	998	kg/m ³
Berat wadah (W ₁)	3.9	3.9	3.9	3.9	kg
Berat wadah + agregat (W ₂)	5.18	5.16	5.06	5.03	kg
Berat benda uji (W ₃ =W ₂ -W ₁)	1.28	1.26	1.16	1.13	kg
Kapasitas wadah (V)	0.003	0.003	0.003	0.003	kg/m ³
Berat isi agregat (W ₃ /V)	427	420	387	377	kg/m ³
Berat isi agregat rata-rata	423		382		kg/m ³

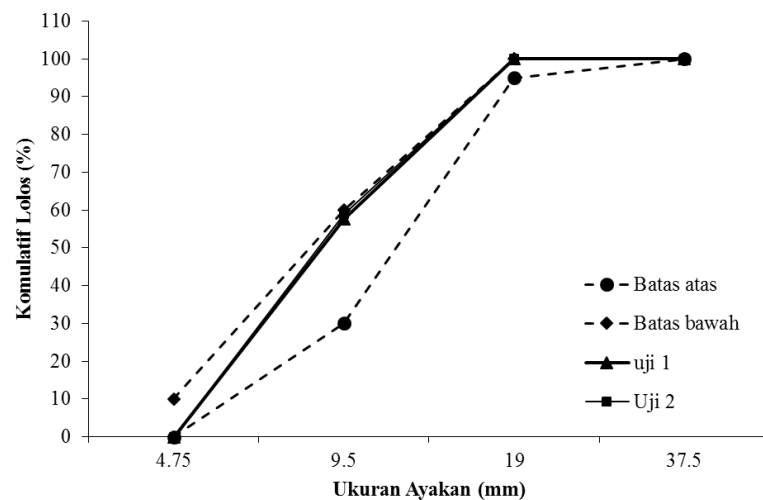
Berdasarkan hasil pengujian diperoleh berat isi rata-rata dengan rojokan adalah sebesar 423 kg/m³ Sedangkan nilai berat isi tanpa rojokan adalah sebesar 382 kg/m³.

4.2.3.3. Pengujian Analisis Saringan

Hasil pengujian analisis saringan ALWA *Styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 4.18 dibawah ini :

Tabel 4.18. Analisis Saringan ALWA *Styrofoam*

No. dan Ukuran Ayakan	Uji 1				Uji 2			
	Tertahan		Komulatif		Tertahan		Komulatif	
	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)	gram	%	Tertahan (%)	Lolos (%)
1 1/2" (37.5 mm)	0	0	0	100	0	0	0	100
3/4" (19.0 mm)	0	0	0	100	0	0	0	100
3/8" (9.5 mm)	105.8	42.32	42	57.68	102.6	41.04	41	58.96
No.4 (4.75 mm)	144.2	57.68	100	0	147.4	58.96	100	0
No.8 (2.38 mm)	0	0	100		0	0	100	
No. 16 (1.1 mm)	0	0	100		0	0	100	
No. 30 (0.59 mm)	0	0	100		0	0	100	
No. 50 (0.297 mm)	0	0	100		0	0	100	
No. 100 (0.149 mm)	0	0	100		0	0	100	
PAN	0	0			0	0		
Jumlah	250	100	642		250	100	641	
FM			6.42				6.41	



Gambar 4.4. Analisis Saringan ALWA *Styrofoam* Ukuran Maksimum 20 mm

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa ALWA *Styrofoam* yang digunakan masuk dalam susunan gradasi untuk ukuran batu pecah maksimum 20 mm dan memiliki nilai modulus kehalusan (FM) rata-rata sebesar 6.42. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan ALWA *Styrofoam* sudah memenuhi standar ASTM C136-01 karena ALWA *Styrofoam* yang digunakan masuk ke dalam zona susunan gradasi.

4.2.3.4. Pengujian Kekuatan ALWA *Styrofoam* terhadap Tumbukan (*Impact Value*)

Hasil pengujian kekuatan ALWA *Styrofoam* dan Batu pecah terhadap tumbukan (*impact value*) dapat dilihat pada Tabel 4.19 dibawah ini :

Tabel 4.19. Hasil Pengujian Kekuatan Tumbukan

Pemeriksaan	Uji 1	Uji 2	Satuan
Berat agregat sebelum diuji (M_1)	210	211	gram
Berat agregat setelah diuji (M_2)	5.4	5.8	gram
<i>Aggregate Impact Value</i> (AIV)	2.57	2.75	gram
Rata-rata	2.66		%

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tumbukan ALWA *Styrofoam* diperoleh nilai impact rata-rata sebesar 2.66%.

4.3. Perencanaan Campuran (*Mix Design*) Beton

Perhitungan rancangan campuran beton dilakukan dengan metode DOE (*Development Of Environment*). Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan bahan per 1 m³. Hasil perhitungan rancangan campuran beton untuk kebutuhan bahan per 1 m³ dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.20. Mix Design untuk Kebutuhan Bahan per 1 m³

Material Penyusun Beton	Berat	Satuan
Semen	700	kg/m ³
Pasir	542	kg/m ³
Batu pecah	923	kg/m ³
Air	210	kg

Tabel 4.21. *Mix Design* untuk Tiap Benda Uji Silinder Ukuran 100 x 200 mm

Komposisi	Semen	Pasir	Batu Pecah	Air	ALWA <i>Styrofoam</i>	0.75% Serat Baja	1.5% Serat Baja
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
0%	1.10	0.85	1.45	0.33	0		
15%	1.10	0.85	1.23	0.33	0.06		
50%	1.10	0.85	0.72	0.33	0.20	0.08	0.16
100%	1.10	0.85	0	0.33	0.39		

Tabel 4.22. *Mix Design* untuk Tiap Benda Uji Balok Ukuran 150x150x600 mm

Komposisi	Semen	Pasir	Batu Pecah	Air	ALWA <i>Styrofoam</i>	1.5% Serat Baja
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
15%	9.45	7.32	10.59	2.84	0.51	1.41

4.4. Hasil Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengukur tingkat kelecakan (*workability*) dari adukan beton. Hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 4.23 dibawah ini:

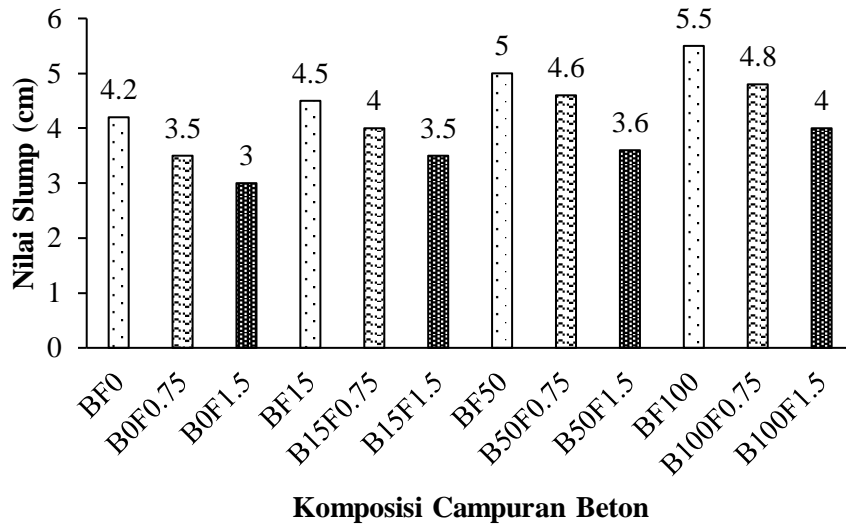
Tabel 4.23. Hasil Pengujian Slump

Komposisi Campuran Beton	Nilai Slump (cm)
0% <i>Fiber Steel</i> + 0% ALWA <i>Styrofoam</i>	4.2
0% <i>Fiber Steel</i> + 15% ALWA <i>Styrofoam</i>	4.5
0% <i>Fiber Steel</i> + 50% ALWA <i>Styrofoam</i>	5
0% <i>Fiber Steel</i> + 100% ALWA <i>Styrofoam</i>	5.5
0,75% <i>Fiber Steel</i> + 0% ALWA <i>Styrofoam</i>	3.5
0,75% <i>Fiber Steel</i> + 15% ALWA <i>Styrofoam</i>	4
0,75% <i>Fiber Steel</i> + 50% ALWA <i>Styrofoam</i>	4.6
0,75% <i>Fiber Steel</i> + 100% ALWA <i>Styrofoam</i>	4.8
1,5% <i>Fiber Steel</i> + 0% ALWA <i>Styrofoam</i>	3
1,5% <i>Fiber Steel</i> + 15% ALWA <i>Styrofoam</i>	3.5
1,5% <i>Fiber Steel</i> + 50% ALWA <i>Styrofoam</i>	3.6
1,5% <i>Fiber Steel</i> + 100% ALWA <i>Styrofoam</i>	4

Penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Serat baja berpengaruh terhadap tingkat kelecakan (*workability*) beton. Beton dengan ALWA *Styrofoam* tanpa serat baja menghasilkan nilai slump antara 42 – 55 mm, beton dengan ALWA *Styrofoam* dan penambahan 0.75% serat baja menghasilkan nilai slump antara 35 – 48 mm, sedangkan beton dengan ALWA *Styrofoam* dan penambahan 1.5% serat baja menghasilkan nilai slump antara 30 – 40 mm. Batas nilai slump yang direncanakan adalah 30-60 mm. Nilai slump yang dihasilkan termasuk dalam kategori rendah, hal ini dikarenakan faktor air semen (fas) dan kadar semen (w/c) yang digunakan lebih rendah daripada beton normal pada umumnya, sehingga semen yang digunakan lebih banyak. Namun, dari hasil pengujian tersebut nilai slump yang dihasilkan tidak melebihi batas nilai slump rencana.

Nilai slump beton dengan ALWA *Styrofoam* tanpa serat baja, meningkat seiring bertambahnya komposisi ALWA *Styrofoam*. Hal ini dikarenakan ALWA *Styrofoam* tidak menyerap air sehingga air lebih banyak diserap oleh penyusun

beton yang lain. Semakin banyak ALWA *Styrofoam* yang digunakan maka pengerjaannya semakin mudah.



Gambar 4.5. Perbandingan Nilai Slump Beton ALWA *Styrofoam*

Pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa slump beton dengan penambahan serat baja lebih rendah daripada beton normal dan beton ALWA *Styrofoam*. Semakin banyak konsentrasi serat yang ditambahkan maka nilai slump semakin rendah dan tingkat kemudahan pengerjaan beton semakin sulit.



Gambar 4.6. Uji Slump

Penyebaran Serat baja dilakukan saat adukan beton sudah dituang air. *Steel fibres* dimasukkan ke dalam *concrete mixer* secara hati-hati dan sedikit demi sedikit untuk mencegah terjadinya penggumpalan serat baja (*balling effect*). Secara visual

pada proses *mixing* tidak terjadi penggumpalan serat baja (*balling effect*) seperti pada Gambar 4.7 dibawah ini,



Gambar 4.7. Proses Pencampuran Serat Baja

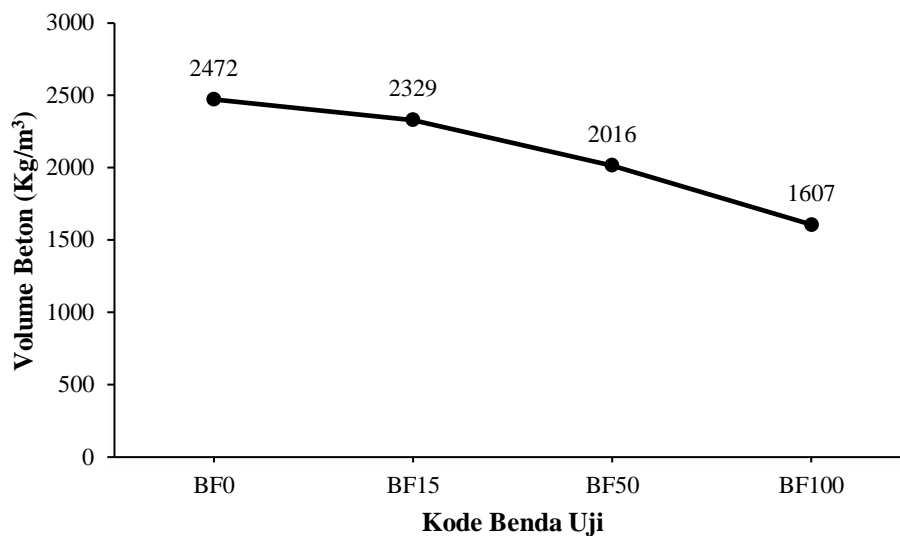
Berdasarkan Gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa serat baja yang dimasukkan kedalam adukan beton bisa tersebar secara merata. Penyebaran serat baja dengan metode basah mampu mencegah terjadinya *balling effect*.

4.5. Hasil Pengujian Berat Volume Beton

ALWA *Styrofoam* memiliki karakteristik yang ringan sehingga perlu dilakukan pengujian berat volume beton untuk mengetahui seberapa besar penurunan berat volume beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Serat baja. Berat volume beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* tanpa serat baja dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.24. Berat Volume Beton ALWA *Styrofoam* Tanpa Serat Baja

Kode Benda Uji	Berat rata-rata (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume Beton (kg/m ³)
BF0	3.88	0.0016	2472
BF 15	3.66	0.0016	2329
BF 50	3.17	0.0016	2016
BF 100	2.53	0.0016	1607



Gambar 4.8. Volume Beton ALWA *Styrofoam* Tanpa Serat Baja

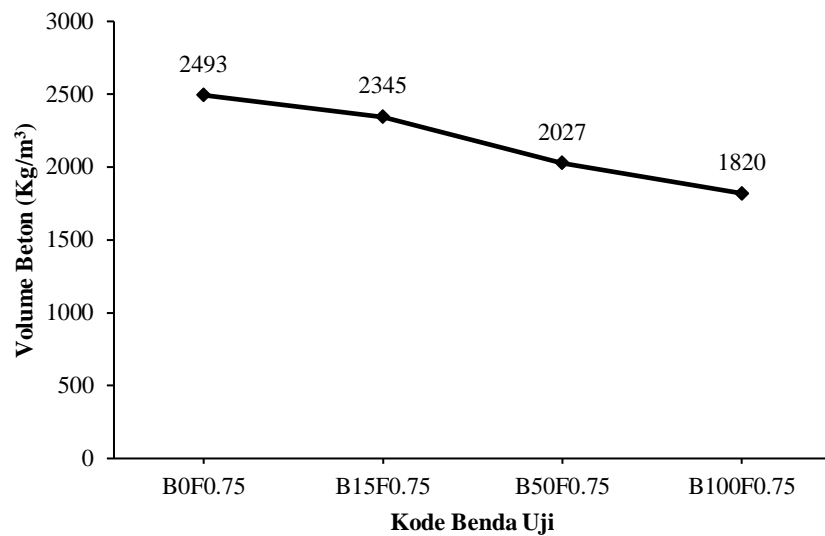
Beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar (batu pecah) mampu menurunkan volume beton. Hal ini bisa dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.8 diatas. Semakin besar komposisi ALWA *Styrofoam* yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar (batu pecah) maka berat volume beton semakin ringan.

Penggunaan ALWA *Styrofoam* dengan komposisi 15%, 50% dan 100% mampu menurunkan volume beton berturut-turut sebesar 6%, 18%, dan 35% dari beton normal. Menurut ASTM C 330-04 beton dapat dikategorikan sebagai beton ringan struktural jika berat volume betonnya kurang dari 1850 kg/m³. Dari keempat komposisi yang masuk dalam kategori beton ringan struktural adalah beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* yaitu sebesar 1607 kg/m³.

Pada penelitian ini, Serat baja juga digunakan untuk campuran beton sebagai bahan tambah. Komposisi serat baja yang digunakan yaitu 0.75% dan 1.5%. Berat volume beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan Serat baja sebesar 0.75% dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.9 dibawah ini :

Tabel 4.25. Volume Beton ALWA *Styrofoam* dengan Komposisi Serat Baja 0.75%

Kode Benda Uji	Berat rata-rata (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume Beton (kg/m ³)
B0F0.75	3.92	0.0016	2493
B15F0.75	3.68	0.0016	2345
B50F0.75	3.18	0.0016	2027
B100F0.75	2.86	0.0016	1820



Gambar 4.9. Volume Beton ALWA *Styrofoam* dengan Komposisi Serat Baja 0.75%

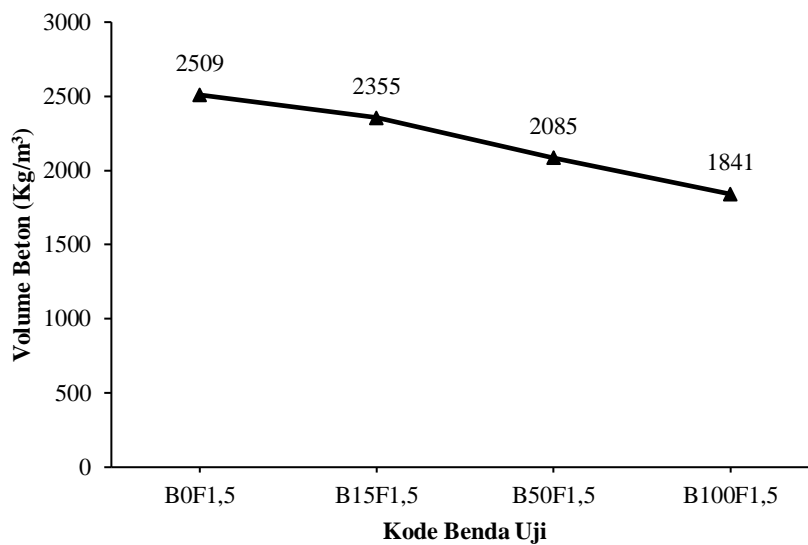
Pada tabel 4.25 dan gambar 4.9 Dapat dilihat bahwa volume beton menurun seiring bertambahnya ALWA *Styrofoam*. Namun, karena beton ditambah Serat baja penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

Penggunaan ALWA *Styrofoam* dengan komposisi 0%, 15%, 50% dan 100% dan ditambah komposisi Serat baja 0.75% dari volume silinder beton mampu menurunkan volume beton berturut-turut sebesar 0.9%, 5%, 18% dan 26% dari beton normal. Dari keempat komposisi yang memiliki volume beton paling rendah adalah beton dengan campuran 100% ALWA *Styrofoam* ditambah 0.75% Serat baja (B100F0.75) yaitu sebesar 1820 kg/m³. B100F0.75 masih masuk dalam kategori beton ringan struktural, karena berat volume betonnya kurang dari 1850 kg/m³.

Berat volume beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan Serat baja sebesar 1.5% dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Gambar 4.10 dibawah ini :

Tabel 4.26. Volume Beton ALWA *Styrofoam* dengan Komposisi Serat Baja 1.5%

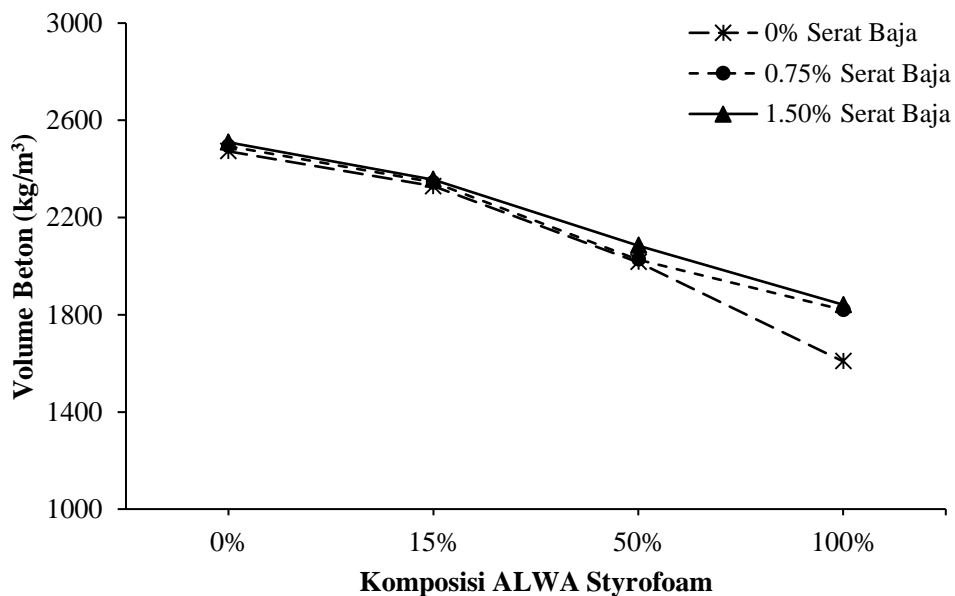
Kode Benda Uji	Berat rata-rata (kg)	Volume (m ³)	Berat Volume Beton (kg/m ³)
B0F1.5	3.94	0.0016	2509
B15F1.5	3.70	0.0016	2355
B50F1.5	3.28	0.0016	2085
B100F1.5	2.89	0.0016	1841



Gambar 4.10. Volume Beton ALWA *Styrofoam* dengan Komposisi Serat Baja 1.5%

Tabel 4.26 dan Gambar 4.10 merupakan hasil perhitungan untuk volume beton ALWA *Styrofoam* dengan komposisi serat baja 1.5%. dari tabel dan gambar diatas dapat dilihat bahwa beton mengalami penurunan. Semakin banyak komposisi serat baja yang ditambahkan maka berat volume beton semakin meningkat.

Penambahan serat baja sebanyak 1.5% pada beton dengan komposisi ALWA *Styrofoam* 0%, 15%, 50%, dan 100% mampu menurunkan volume beton berturut-turut sebesar 1.5%, 5%, 16%, dan 26% dari beton normal. Diantara keempat komposisi yang masih masuk dalam kategori beton ringan struktural adalah beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% serat baja (B100F1.5) yaitu sebesar 1841 kg/m³.



Gambar 4.11. Hubungan Volume Beton dan Komposisi ALWA Styrofoam dengan Penambahan Serat Baja

Berdasarkan hasil pengujian berat volume beton pada Gambar 4.11, beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* mampu mereduksi volume beton sebesar 6-35%. Sedangkan beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* dan penambahan serat baja mampu mereduksi volume beton beton sebesar 5-26%. Dari masing-masing komposisi yang termasuk dalam kategori beton ringan structural adalah beton dengan komposisi ALWA *Styrofoam* 100% yaitu BF100 (Beton dengan 100% ALWA *Styrofoam*), B100F0.75 (Beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja) dan B100F1.5 (Beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja).

4.6. Hasil Pengujian Sifat Mekanik Beton

Pengujian sifat mekanik beton meliputi pengujian kekuatan tekan, modulus elastisitas, kekuatan tarik belah dan kekuatan lentur.

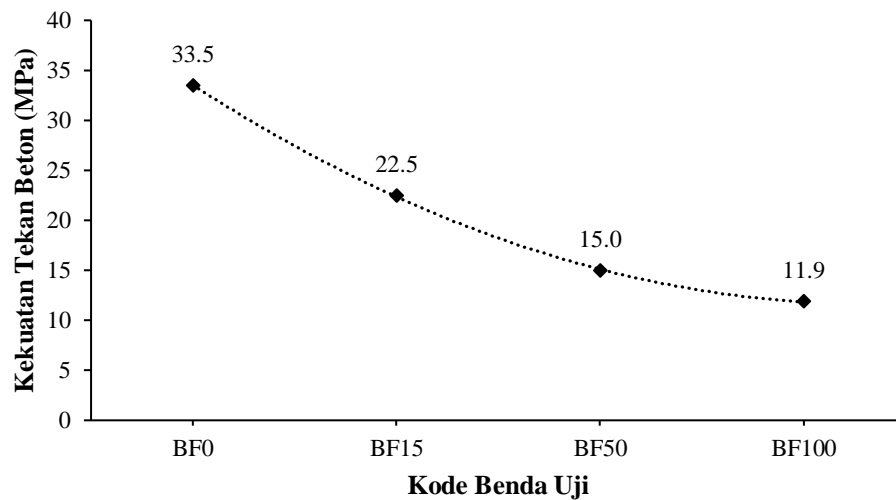
4.6.1. Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Beton

Campuran beton terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen dan air. Karakteristik dan kandungan dari masing-masing bahan mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tekan beton. Pada penelitian ini, *Styrofoam* dibentuk menjadi agregat ringan buatan (ALWA) dengan cara dilarutkan menggunakan *Aceton*. ALWA *Styrofoam* yang sudah jadi memiliki tekstur yang sangat keras dan ringan. Karena teksturnya yang keras maka ALWA *Styrofoam* digunakan sebagai pengganti agregat kasar. Selain itu, agar beton lebih tahan terhadap retak maka serat baja juga digunakan pada penelitian ini.

Hasil pengujian kekuatan tekan beton dibagi menjadi tiga bagian yaitu kekuatan tekan beton ALWA *Styrofoam* tanpa penambahan Serat baja, kekuatan tekan beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan Serat baja sebanyak 0.75% dan kekuatan tekan beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan Serat baja 1.5%. Hasil pengujian kekuatan tekan beton ALWA *Styrofoam* tanpa penambahan Serat baja dapat dilihat pada Tabel 4.27 dibawah ini :

Tabel 4.27. Kekuatan Tekan Beton ALWA *Styrofoam* tanpa Penambahan Serat Baja

Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Luas (mm ²)	P _{maks} (kgf)	Kekuatan tekan, f'_c (MPa)	Kekuatan tekan rata-rata, $f'_{c\text{rata-rata}}$ (MPa)
BF0	4	7853.98	25591	32.6	33.5
	5		26871	34.2	
	6		26439	33.7	
BF15	4	7853.98	15940	20.3	22.5
	5		19360	24.6	
	6		17693	22.5	
BF50	4	7853.98	13011	16.6	15.0
	5		11274	14.4	
	6		10975	14.0	
BF100	4	7853.98	9004	11.5	11.9
	5		9114	11.6	
	6		9875	12.6	



Gambar 4.12. Kekuatan Tekan Beton ALWA *Styrofoam* Tanpa Serat Baja

Hasil pengujian kekuatan tekan pada beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* tanpa serat baja mampu menghasilkan kekuatan tekan maksimum sebesar 22.5 MPa yaitu pada penggunaan 15% ALWA *Styrofoam* (BF15). Sedangkan kekuatan tekan minimum sebesar 11.9 MPa yaitu pada penggunaan 100% ALWA *Styrofoam* (BF100). Semakin banyak ALWA *Styrofoam* yang digunakan sebagai pengganti batu pecah, kekuatan tekan beton mengalami penurunan. ALWA *Styrofoam* memiliki ikatan yang lemah dengan pasta semen. Saat pengujian kekuatan tekan, ALWA *Styrofoam* terlepas dan tidak hancur. Sehingga, mengakibatkan nilai kekuatan tekan menurun seiring bertambahnya komposisi ALWA *Styrofoam*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.13 dibawah ini.

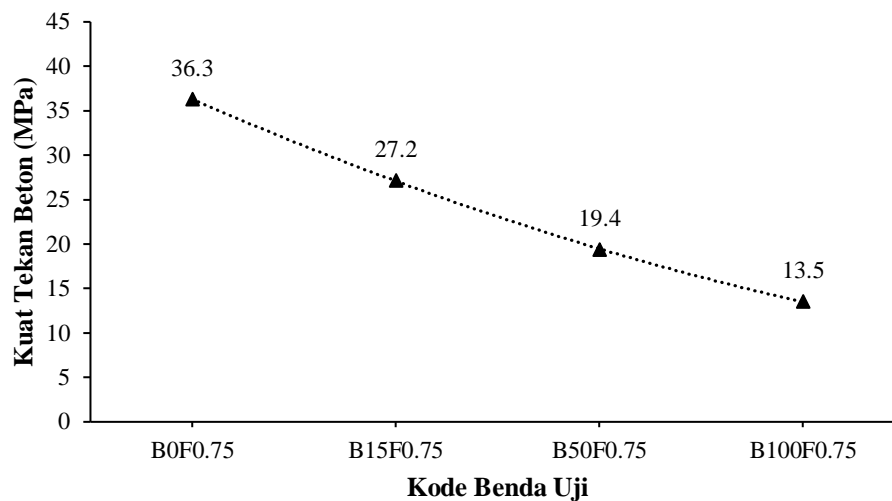


Gambar 4.13. Beton dengan Komposisi 100% ALWA *Styrofoam*

Hasil pengujian kekuatan tekan beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja sebanyak 0.75% dapat dilihat pada Tabel 4.28 dibawah ini:

Tabel 4.28. Kekuatan Tekan Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 0.75% Serat Baja

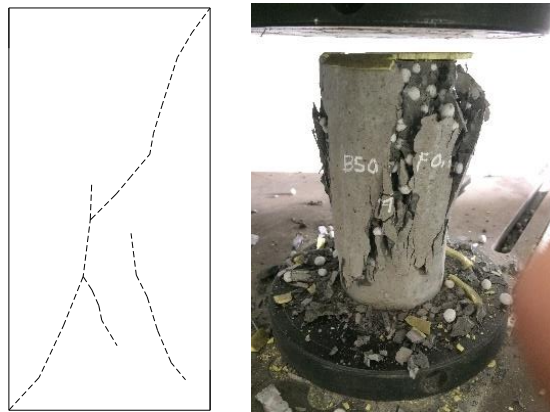
Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Luas (mm ²)	P _{maks} (kgf)	Kekuatan tekan, f'_c (MPa)	Kekuatam tekan rata-rata, f'_c (MPa)
B0F0.75	4	7853.98	28528	36.3	36.3
	5		28326	36.1	
	6		28644	36.5	
B15F0.75	4	7853.98	22498	28.6	27.2
	5		21379	27.2	
	6		20206	25.7	
B50F0.75	4	7853.98	14620	18.6	19.4
	5		15803	20.1	
	6		19133	24.4*	
B100F0.75	4	7853.98	10637	13.5	13.5
	5		10975	14.0	
	6		10296	13.1	



Gambar 4.14. Kekuatan Tekan Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 0.75% Serat Baja

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat hasil pengujian kekuatan tekan dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja. Hasil pengujian kekuatan

tekan beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 0.75% serat baja menghasilkan kekuatan tekan maksimum sebesar 27,2 MPa. Sedangkan, kekuatan tekan minimum sebesar 14 MPa yaitu pada komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja (B100F0.75). Penambahan serat baja mampu meningkatkan kekuatan tekan beton. Beton dengan komposisi 15% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% serat baja nilai kekuatan tekannya meningkat sebesar 17% dari beton dengan komposisi 15% ALWA *Styrofoam* tanpa Serat baja (BF15). Beton dengan komposisi 50% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja (B50F0.75) nilai kekuatan tekannya tidak merata, hal ini dikarenakan beban tidak tersebar secara merata akibat *capping* yang miring. Pola retak yang terjadi akibat *capping* yang miring adalah geser (*shear*) seperti pada gambar 4.15 dibawah ini,

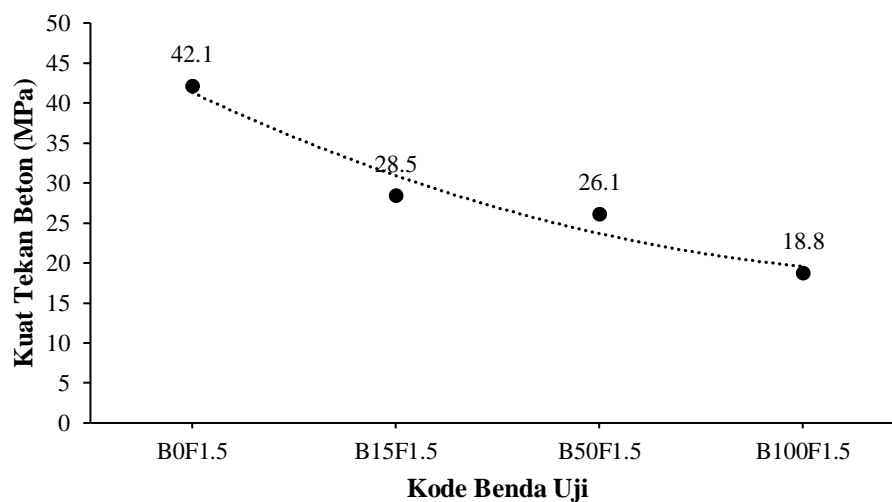


Gambar 4.15. Pola Retak Geser (*shear*) pada Beton dengan Komposisi 50% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja

Hasil pengujian kekuatan tekan beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja sebanyak 1.5% dapat dilihat pada Tabel 4.29 dibawah ini :

Tabel 4.29. Kekuatan Tekan Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 1.5% Serat Baja

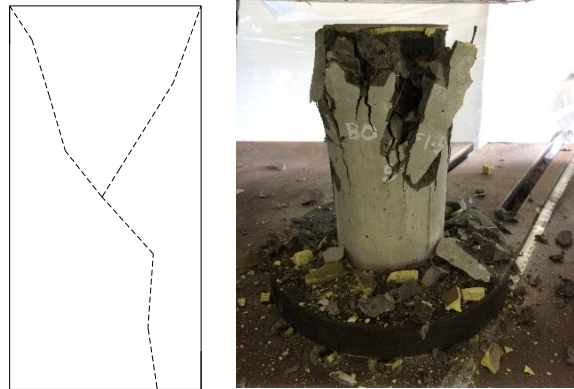
Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Luas (mm ²)	P _{maks} (kgf)	Kekuatan tekan, f'_c (MPa)	Kekuatan tekan rata-rata, $f'_{Crata-rata}$ (MPa)
B0F1.5	4	7853.98	32236	41.0	42.1
	5		37512	47.8*	
	6		33941	43.2	
B15F1.5	4	7853.98	21136	26.9	28.5
	5		23667	30.1	
	6		22295	28.4	
B50F1.5	4	7853.98	21272	27.1	26.1
	5		20590	26.2	
	6		19749	25.1	
B100F1.5	4	7853.98	14076	17.9	18.8
	5		14247	18.1	
	6		15889	20.2	



Gambar 4.16 Kekuatan Tekan Beton dengan Penambahan 1.5% Serat Baja

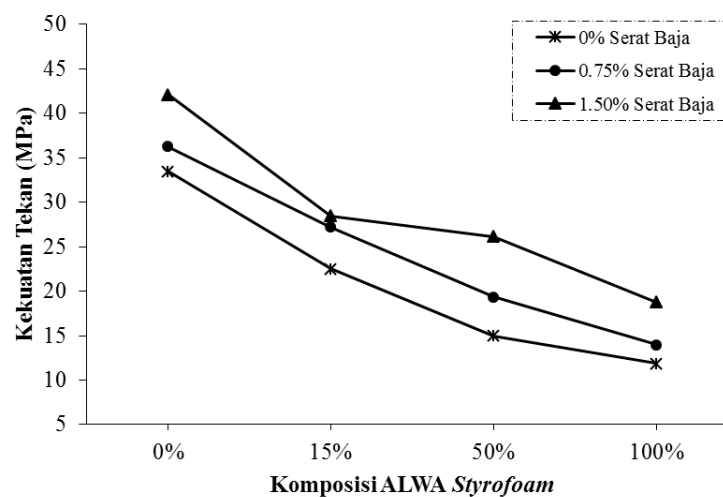
Penambahan konsentrasi serat baja semakin menambah nilai kekuatan tekan, namun kenaikan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Penambahan serat baja sebanyak 1.5% pada beton dengan komposisi ALWA *Styrofoam* 0%, 15%, 50%, dan 100% meningkatkan nilai kekuatan tekan beton berturut-turut sebesar 18%, 4%, 26.9%, dan 26.6% dari beton dengan komposisi 0% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja. Beton dengan komposisi 0% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat

baja (B0F1.5) nilai kekuatan tekannya tidak merata, hal ini dikarenakan beban tidak tersebar secara merata akibat *capping* yang miring. Pola retak yang terjadi akibat *capping* yang miring adalah *cone* dan *shear* seperti pada Gambar 4.15 dibawah ini,



Gambar 4.17 Pola Retak *Cone* dan *Shear* (geser) pada Beton dengan Komposisi 0% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan, penggunaan ALWA *Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar mampu menghasilkan kekuatan tekan optimum sebesar 22.5 MPa yaitu pada komposisi ALWA *Styrofoam* 15%. Sedangkan, penggunaan ALWA *Styrofoam* dengan bahan tambah serat baja, mampu menghasilkan kekuatan tekan maksimum sebesar 28.5 MPa yaitu pada komposisi 15% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja. Peningkatan kuat tekan dengan penambahan Serat baja dapat dilihat pada Gambar 4.16 dibawah ini,



Gambar 4.18 Hubungan Antara Kekuatan Tekan dan Prosentase ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan Serat baja

Penambahan serat baja tidak hanya mampu meningkatkan kekuatan tekan, namun dapat mengikat beton yang pecah menjadi beberapa bagian akibat lekatan ALWA *Styrofoam* dan pasta semen yang lemah. Perbedaan pecahan beton ALWA *Styrofoam* tanpa serat dan dengan penggunaan serat baja dapat dilihat pada Gambar 4.19 dibawah ini,



Gambar 4.19 Retak Pada Beton *non* Serat dan Beton Berserat

Berdasarkan hasil pengujian, komposisi ALWA *Styrofoam* sebanyak 15% mampu menghasilkan kekuatan tekan optimum, baik pada beton tanpa serat maupun yang berserat. Penelitian ini hampir sama dengan penelitian Budhianto (1997) bahwa penggunaan *Styrofoam* dengan kadar 12,5% cukup representatif apabila digunakan sebagai beton struktural. Hasil penelitian Elsa Miranda, dkk (2010) juga menyatakan bahwa penambahan 1.5% serat baja yang dibentuk seperti huruf Z dan 20% *Styrofoam* mampu menghasilkan kuat tekan maksimum sedangkan pada penelitian ini penggunaan kadar serat baja berkait (*hooked*) sebanyak 1.5% dan 15% ALWA *Styrofoam* juga mampu menghasilkan kuat tekan maksimum.

Serat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah serat baja berkait (*hooked*) dengan panjang 60 mm dan diameter 0.8 mm dan $l/d=75$ mm. Penambahan serat baja sebanyak 1.5% mampu menghasilkan kuat tekan maksimum. Penelitian ini hampir sama dengan hasil penelitian Ananta ariatama (2007) dengan menggunakan Serat baja berkait menyatakan bahwa kuat tekan l/d yang optimal untuk campuran beton adalah 75 mm. Sedangkan dari hasil penelitian terkait penggunaan serat dengan jenis *hooked* yang dilakukan oleh Wasim Abbas *et al* (2017), beton dengan

komposisi serat 1.5% dengan panjang serat baja 60 mm dan diameter 0.75 mampu menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 93.8 MPa.

Hasil analisis pengujian kekuatan tekan beton pada Gambar 4.12, Gambar 4.14, dan Gambar 4.16 dapat didekati dengan sebuah persamaan. Adapun persamaan yang didapat adalah sebagai berikut,

$$\frac{f'_{ca}}{f'_c} = (1 + P_a)^c \quad (4.1)$$

dimana,

f_c = tegangan tekan (MPa)

f'_{ca} = tegangan tekan maksimum beton dengan ALWA *Styrofoam* dan serat baja (MPa)

P_a = komposisi ALWA *Styrofoam* tanpa serat dan dengan tambahan serat baja (%)

c = *curve factor*

Variasi beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* terdiri dari beton berserat dan tanpa serat baja sehingga terdapat perbedaan nilai c pada Persamaan 4.1. Perbedaan nilai c dihitung dengan sebuah persamaan. Adapun persamaan nilai c yang digunakan untuk beton ALWA *Styrofoam* non serat adalah sebagai berikut,

$$c = \ln(P_a) - 6 \quad (4.2)$$

Sedangkan, persamaan nilai c yang digunakan untuk beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja adalah sebagai berikut,

$$c = \ln(P_a) - 5 \quad (4.3)$$

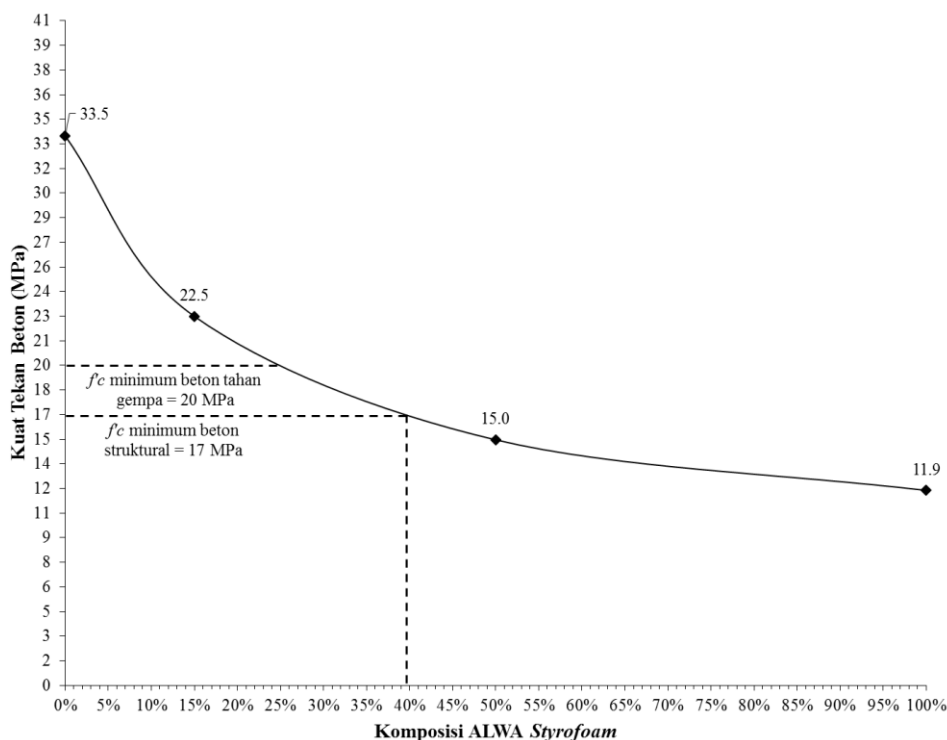
dimana,

c = *curve factor*

P_a = komposisi ALWA *Styrofoam* tanpa serat dan dengan tambahan serat baja (%)

4.6.2. Kekuatan Tekan Minimum Beton Struktural dan Beton Tahan Gempa dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan Serat Baja

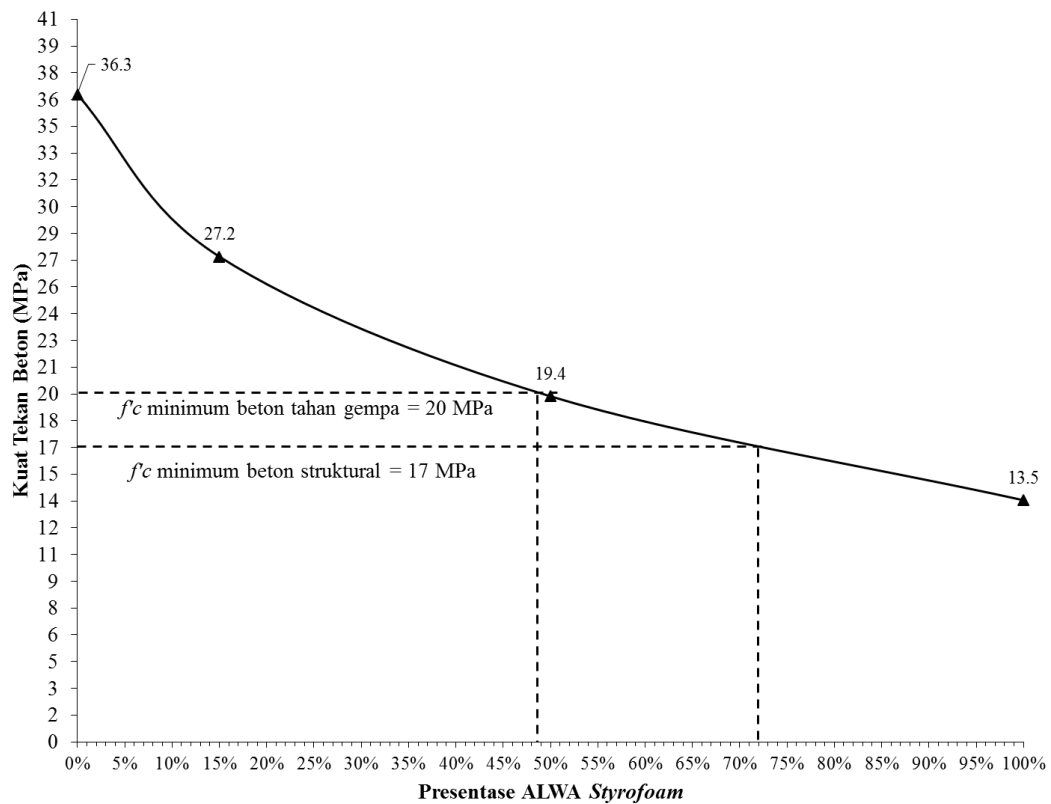
Penggunaan 15% ALWA *Styrofoam* mampu menghasilkan kekuatan tekan optimum sebesar 22.5 MPa sampai 28.5 MPa dan mereduksi berat volume beton sebesar 5 hingga 6%. Menurut SNI 2847 2013, standar kekuatan tekan (f'_c) minimum untuk beton struktural adalah tidak kurang dari 17 MPa sedangkan standar kekuatan tekan (f'_c) minimum untuk beton tahan gempa adalah sebesar 20 MPa. Sehingga ALWA *Styrofoam* layak digunakan pada beton struktural maupun beton tahan gempa. Berikut ini adalah kebutuhan komposisi ALWA *Styrofoam* yang dapat digunakan untuk mencapai kekuatan tekan minimum sebesar 17 MPa dan 20 MPa,



Gambar 4.20. Hubungan Kekuatan Tekan dan Komposisi ALWA *Styrofoam* Pada Beton tanpa Serat baja

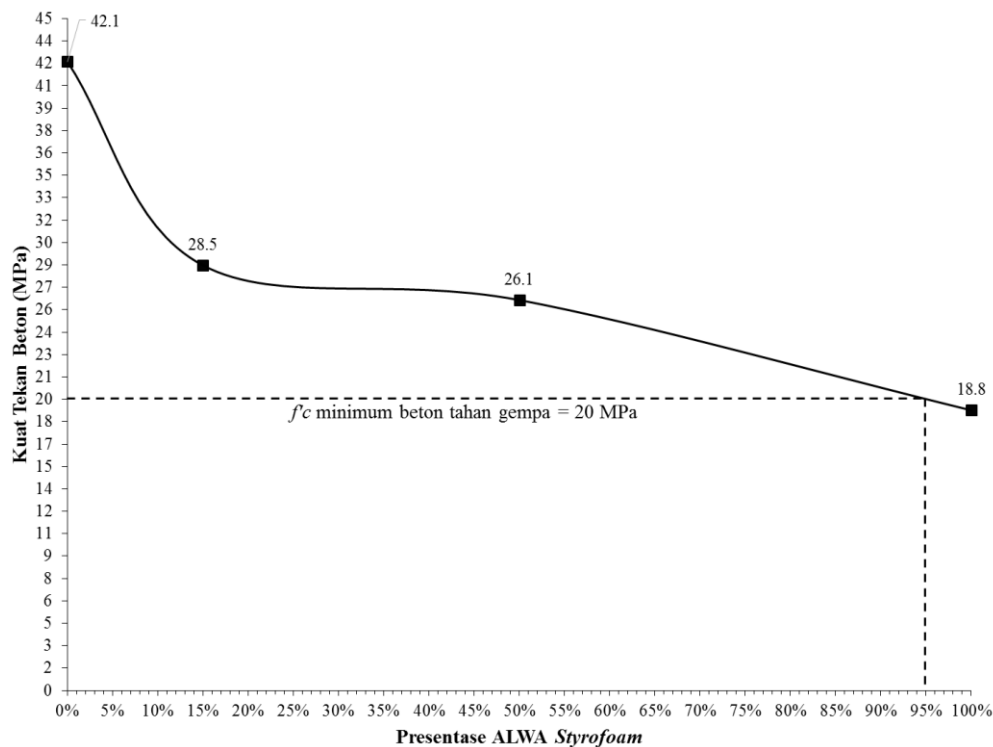
Berdasarkan hasil plot grafik pada Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa pada beton tanpa serat baja, untuk mencapai kekuatan tekan beton tahan gempa sebesar 20 MPa dibutuhkan komposisi ALWA *Styrofoam* sebanyak 25.5% sedangkan

untuk mencapai kekuatan tekan beton struktural sebesar 17 MPa dibutuhkan komposisi ALWA *Styrofoam* sebanyak 40.5%.



Gambar 4.21. Hubungan Kekuatan Tekan dan Komposisi ALWA *Styrofoam* Pada Beton dengan Penggunaan 0.75% Serat Baja

Berdasarkan hasil plot grafik pada Gambar 4.21 dapat dilihat bahwa pada beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja, untuk mencapai kekuatan tekan beton tahan gempa sebesar 20 MPa dibutuhkan komposisi ALWA *Styrofoam* sebanyak 49.5% sedangkan untuk mencapai kekuatan tekan beton struktural sebesar 17 MPa dibutuhkan komposisi ALWA *Styrofoam* sebanyak 72%.



Gambar 4.22. Hubungan Kekuatan Tekan dan Komposisi ALWA *Styrofoam* Pada Beton dengan Penggunaan 1.5% Serat Baja

Berdasarkan hasil plot grafik pada Gambar 4.22 dapat dilihat bahwa pada beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja, untuk mencapai kekuatan tekan sebesar 20 MPa dibutuhkan kadar ALWA *Styrofoam* sebanyak 96%. Pada penelitian ini penggunaan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja mencapai kekuatan tekan sebesar 18.8 MPa sehingga sudah melebihi standar kekuatan minimum untuk beton struktural karena lebih dari 17 MPa.

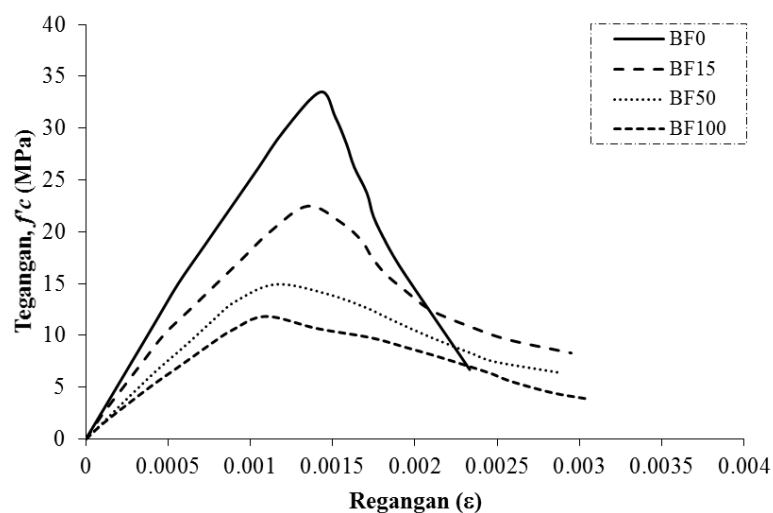
4.6.3. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan ini berdasarkan hasil pengujian kekuatan beton. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan beton, tegangan menurun seiring bertambahnya ALWA *Styrofoam*. Perilaku hubungan tegangan dan regangan pada beton normal yang diusulkan oleh Eivind Hognestad (1951) pada saat tegangan dan regangan awal kurva bersifat linier dan mulai runtuh saat tegangan dan regangan mencapai $0.85f'_c$ setelah tegangan puncak. Sedangkan,

menurut Kent dan Park (1971) keruntuhan terjadi saat tegangan dan regangan mencapai $0.5f'_c$ setelah tegangan puncak. Sehingga, nilai regangan yang diambil untuk kurva hubungan tegangan dan regangan yaitu regangan yang terjadi saat tegangan puncak (f'_c), regangan pada saat $0.85f'_c$ setelah tegangan puncak dan regangan pada saat $0.5f'_c$ setelah tegangan puncak, hal ini untuk mengetahui peningkatan regangan yang terjadi pada masing-masing komposisi. Hubungan tegangan dan regangan beton normal dan beton dengan penggunaan ALWA Styrofoam dapat dilihat pada Tabel 4.30 dan Gambar 4.23 dibawah ini :

Tabel 4.30. Tegangan dan Regangan Beton Normal dan Beton dengan Penggunaan ALWA Styrofoam.

Kode Benda Uji	Tegangan (f'_c)			Regangan (ϵ)		
	f'_{cmaks} (MPa)	$0.85f'_c$ (MPa)	$0.5f'_c$ (MPa)	ϵ_{fcmaks}	$\epsilon_{0.85f'_c}$	$\epsilon_{0.5f'_c}$
BF0	33.49	28.46	16.74	0.00142	0.00166	0.00184
BF15	22.49	19.12	11.25	0.00135	0.00168	0.00232
BF50	14.96	12.72	7.48	0.00119	0.00170	0.00248
BF100	11.88	10.10	5.94	0.00109	0.00171	0.00250



Gambar 4.23. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton Normal dan Beton dengan Penggunaan ALWA Styrofoam.

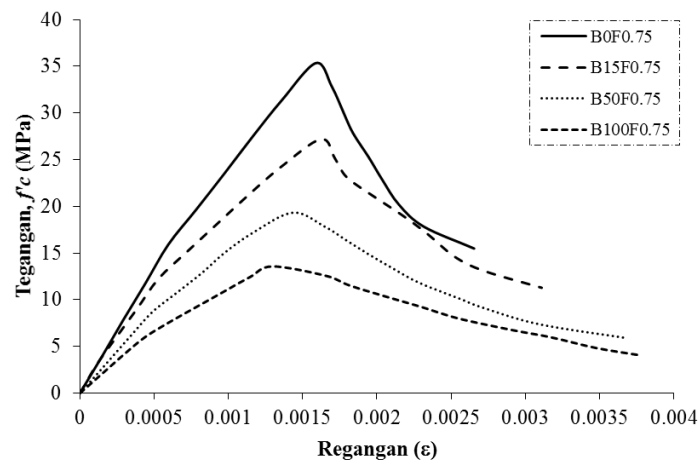
Berdasarkan Tabel 4.30 dapat dilihat bahwa pada beton normal (BF0) menghasilkan tegangan maksimum. Sedangkan beton dengan komposisi 100%

ALWA *Styrofoam* memiliki tegangan paling rendah, namun regangan saat $0.85f'_c$ setelah regangan puncak meningkat sebesar 2.6%. Pada saat regangan $0.5f'_c$ setelah regangan puncak beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* (BF100) meningkat sebesar 35% dari beton normal (BF0). Secara visual juga dapat dilihat pada Gambar 4.23, saat garis kurva sudah melewati tegangan puncak penurunan yang terjadi terlihat lebih curam, hal ini menandakan bahwa beton tanpa komposisi ALWA *Styrofoam* bersifat lebih getas (*brittle*). Kurva beton dengan komposisi ALWA *Styrofoam* sebanyak 15% (BF15), 50% (BF50) dan 100% (BF100) terlihat lebih landai dari beton normal. Hal ini menandakan bahwa beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* mempunyai perilaku yang lebih daktail dari beton tanpa penggunaan ALWA *Styrofoam*.

Hubungan tegangan dan regangan beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.24 dibawah ini,

Tabel 4.31. Tegangan dan Regangan Beton dengan Penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja.

Kode Benda Uji	Tegangan (f'_c)			Regangan (ϵ)		
	f'_{cmaks}	$0.85f'_c$	$0.5f'_c$	ϵ_{fcmaks}	$\epsilon_{0.85f'_c}$	$\epsilon_{0.5f'_c}$
	(MPa)	(MPa)	(MPa)			
B0F0.75	36.29	30.84	18.14	0.00159	0.00178	0.00269
B15F0.75	27.20	23.12	13.60	0.00162	0.00184	0.00272
B50F0.75	19.37	16.46	9.68	0.00143	0.00187	0.00278
B100F0.75	13.54	11.51	6.77	0.00130	0.00150	0.00282



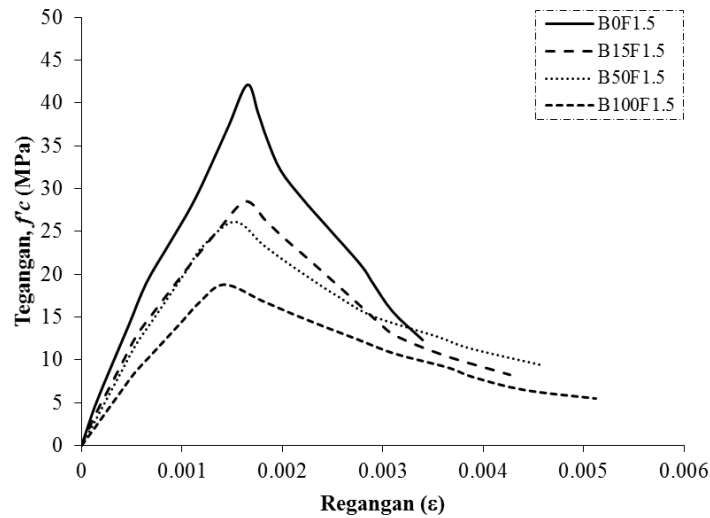
Gambar 4.24. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja.

Berdasarkan Tabel 4.31 dapat dilihat bahwa pada beton tanpa penggunaan ALWA *Styrofoam* dan penambahan 0.75% Serat baja (B0F0.75) menghasilkan tegangan maksimum. Sedangkan beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja memiliki tegangan minimum, namun regangan saat $0.5f'_c$ setelah regangan puncak beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja (B100F0.75) meningkat sebesar 4.5% dari beton dengan 0% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja (B0F0.75).

Hubungan tegangan dan regangan beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Gambar 4.25 dibawah ini,

Tabel 4.32. Tegangan dan Regangan Beton dengan Penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja.

Kode Benda Uji	Tegangan (f'_c)			Regangan (ϵ)		
	$f'_{c_{maks}}$ (MPa)	$0.85f'_c$ (MPa)	$0.5f'_c$ (MPa)	$\epsilon_{f_{c_{maks}}}$	$\epsilon_{0.85f'_c}$	$\epsilon_{0.5f'_c}$
B0F1.5	42.13	35.81	21.06	0.00165	0.00195	0.00295
B15F1.5	28.48	24.21	14.24	0.00163	0.00202	0.00297
B50F1.5	26.15	22.23	13.07	0.00152	0.00203	0.00354
B100F1.5	18.76	15.95	9.38	0.00142	0.00208	0.00364



Gambar 4.25. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja.

Berdasarkan Tabel 4.31 dapat dilihat bahwa beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja memiliki tegangan minimum sedangkan beton tanpa penggunaan ALWA *Styrofoam* dan penambahan 1.5% Serat baja (B0F1.5) menghasilkan tegangan maksimum. Namun berdasarkan nilai regangan, regangan saat $0.85f'_c$ setelah regangan puncak meningkat sebesar 0.6% dari sedangkan saat regangan $0.5f'_c$ setelah regangan puncak beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja (B100F0.75) meningkat sebesar 19.15% dari beton dengan 0% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja (B0F0.75). Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penambahan Serat baja pada dengan campuran ALWA *Styrofoam* semakin meningkatkan regangan beton sehingga beton menjadi lebih daktail.

4.6.3. Formulasi Kurva Tegangan dan Regangan

Kurva tegangan-regangan tekan dari hasil pengujian kekuatan tekan beton pada Gambar pada Gambar 4.21, Gambar 4.22, dan Gambar 4.23 dinyatakan dalam bentuk persamaan. Persamaan yang sesuai untuk menggambarkan kurva tegangan dan regangan tekan beton adalah yang diusulkan Popovic (1973). Persamaan yang dimaksud adalah sebagai berikut :

$$\frac{f_c}{f'_{ca}} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{ca}} \times \frac{n}{n - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_{ca}}\right)^n} \quad (4.4)$$

$$n = 0.8 + \frac{f'_{ca}}{17} \quad (4.5)$$

dimana,

f'_{ca} = tegangan tekan maksimum beton dengan ALWA *Styrofoam* dan serat baja (MPa)

f'_c = tegangan tekan (MPa)

ε_c = regangan tekan

ε'_{ca} = regangan tekan saat mencapai tegangan maksimum

n = *curve fitting factor*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung regangan tekan saat mencapai tegangan maksimum (ε'_c) mengacu pada peraturan *Chinese National Standard* GB50010-2010. Adapun persamaan yang dimaksud adalah sebagai berikut,

$$\varepsilon'_{ca} = 0.002 + 0.5(f'_{ca} - 50) \times 10^{-5} \quad (4.6)$$

dimana,

ε'_{ca} = regangan tekan saat mencapai tegangan maksimum

f'_{ca} = tegangan tekan maksimum beton dengan ALWA *Styrofoam* dan serat baja (MPa)

Selain itu, pada Persamaan 4.4 diatas mengalami modifikasi hal ini dikarenakan material yang digunakan dari masing-masing komposisi beton berbeda. Modifikasi dilakukan pada Persamaan 4.4 yaitu memodifikasi nilai n menjadi persamaan berikut,

$$n = 0.8 + \frac{a}{f'_{ca}} \quad (4.7)$$

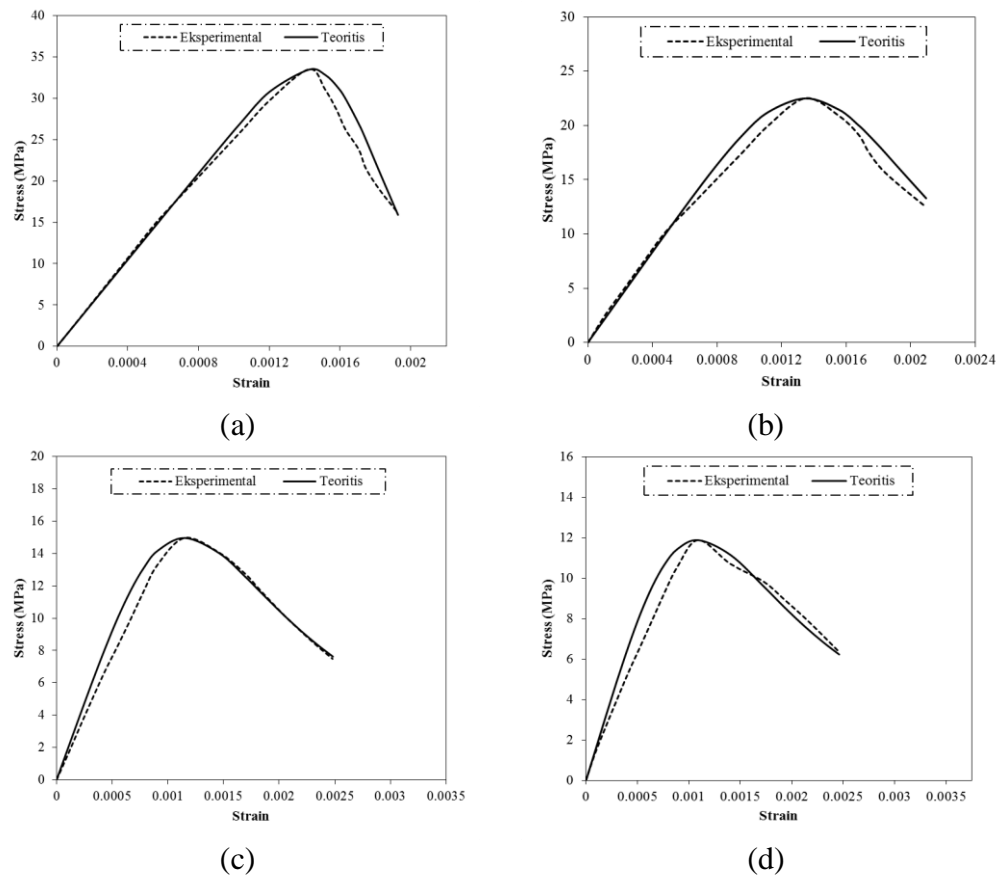
Konstanta a dari Persamaan 4.7 diperoleh dari hasil *trial and error*. Konstanta a yang digunakan adalah yang paling mendekati antara garis kurva

ekperimental dan teoritis. Hasil modifikasi nilai n untuk kurva tegangan dan regangan adalah sebagai berikut,

Tabel 4.33. Modifikasi Nilai n untuk Beton ALWA *Styrofoam* Tanpa Serat Baja

Kode benda uji	Modifikasi nilai n
BF0	$n = 0.8 + \frac{300}{f_{ca}}$
BF15	$n = 0.8 + \frac{95}{f_{ca}}$
BF50	$n = 0.8 + \frac{35}{f_{ca}}$
BF100	$n = 0.8 + \frac{25}{f_{ca}}$

Hasil modifikasi nilai n dari Tabel 4.33 kemudian dihitung dan hasilnya dimasukkan ke dalam Persamaan 4.4. Hasil perhitungan dari Persamaan 4.4 dinyatakan dalam bentuk grafik kurva tegangan dan regangan yang dapat dilihat pada Gambar 4.26 dibawah ini,



Gambar 4.26. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan ALWA *Styrofoam* tanpa Serat Baja

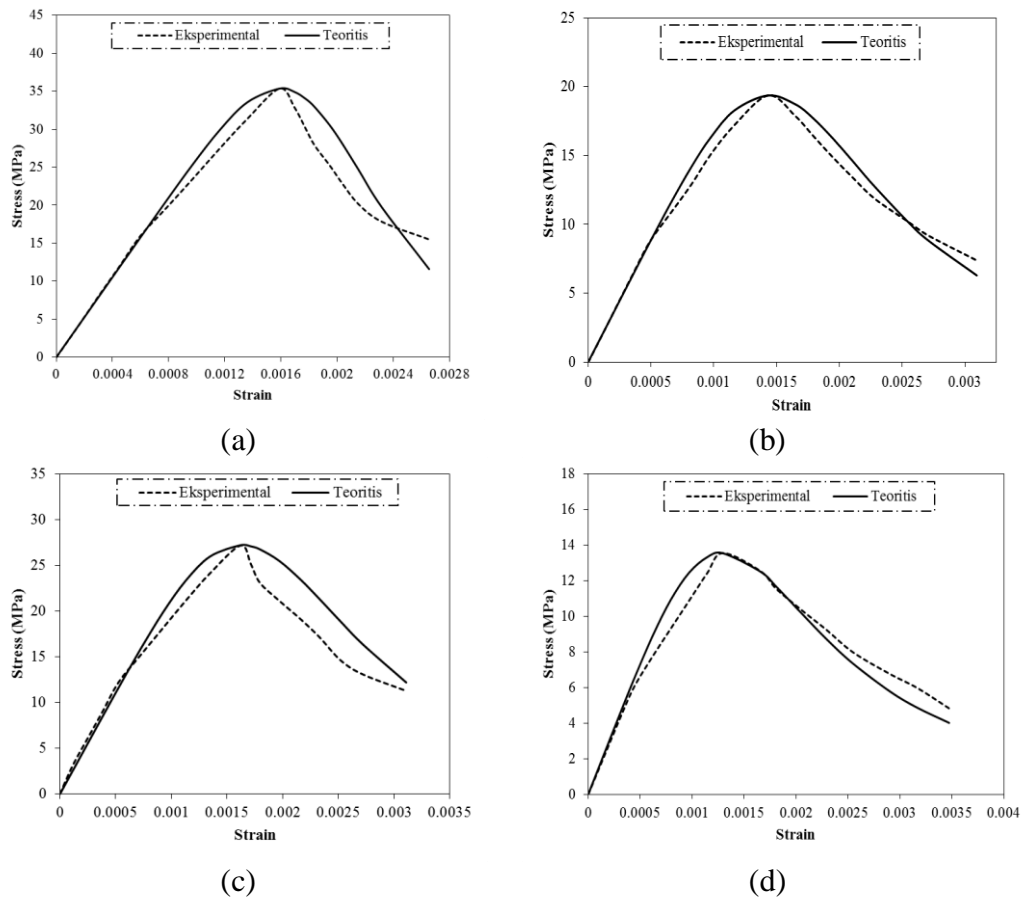
Berdasarkan Gambar 4.26 terdiri dari empat grafik kurva tegangan dan regangan yaitu kurva tegangan dan regangan beton normal atau BF0 (a), kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 15% ALWA *Styrofoam* atau BF15 (b), kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 50% ALWA *Styrofoam* atau BF50 (c) dan kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 100% ALWA *Styrofoam* atau BF100 (d). Semakin sedikit komposisi ALWA *Styrofoam* maka nilai a pada modifikasi n semakin kecil. Penggunaan nilai a pada modifikasi nilai n yang digunakan berdasarkan hasil *trial and error* adalah yang paling mendekati antara eksperimental dan teoritis.

Modifikasi nilai n pada beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja disajikan pada Tabel 4.34 dibawah ini,

Tabel 4.34. Modifikasi Nilai n Beton ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja

Kode benda uji	Modifikasi nilai n
B0F0.75	$n = 0.8 + \frac{200}{f_{ca}}$
B15F0.75	$n = 0.8 + \frac{90}{f_{ca}}$
B50F0.75	$n = 0.8 + \frac{65}{f_{ca}}$
B100F0.75	$n = 0.8 + \frac{40}{f_{ca}}$

Hasil modifikasi nilai n dari Tabel 4.34 kemudian dihitung dan hasilnya dimasukkan ke dalam Persamaan 4.4. Hasil perhitungan dari Persamaan 4.4 dinyatakan dalam bentuk grafik kurva tegangan dan regangan yang dapat dilihat pada Gambar 4.27 dibawah ini,



Gambar 4.27. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja

Berdasarkan Gambar 4.25 terdiri dari empat grafik kurva tegangan dan regangan yaitu kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 0% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja atau B0F0.75 (a), kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 15% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja atau B15F0.75 (b), kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 50% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja atau B50F0.75 (c) dan kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat baja atau B100F0.75 (d). Tegangan yang dihasilkan pada kadar serat 0.75% menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan beton tanpa serat baja. Namun, penggunaan ALWA *Styrofoam* sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan. Semakin sedikit komposisi ALWA *Styrofoam* maka nilai a pada modifikasi n semakin kecil. Penggunaan nilai a pada modifikasi nilai n yang

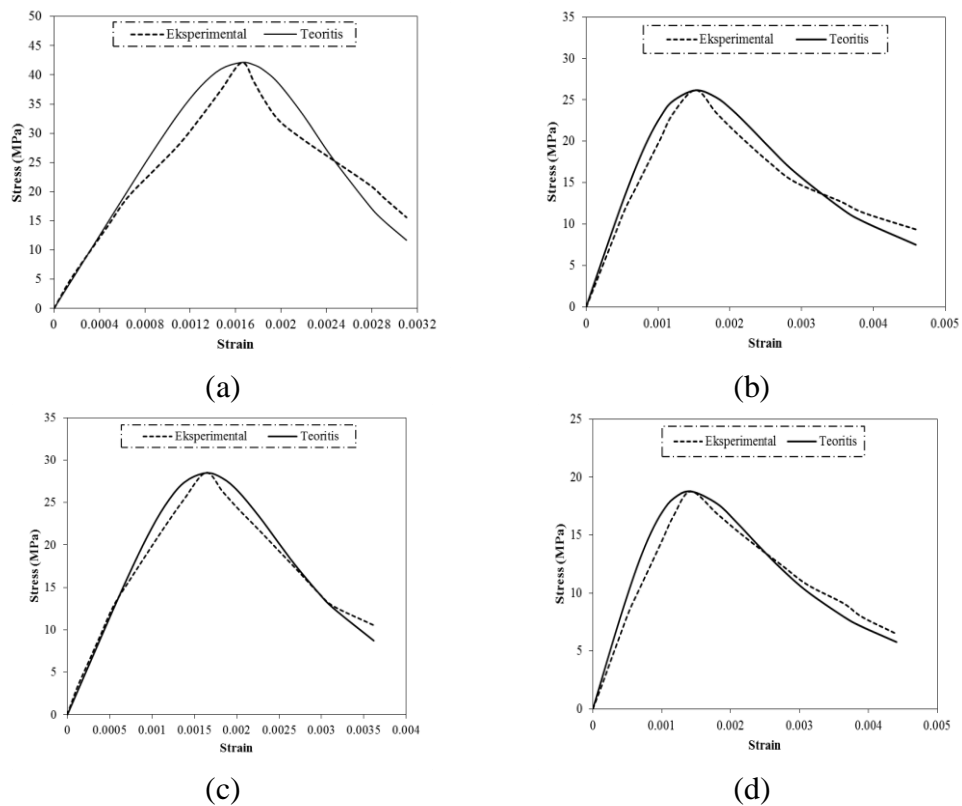
digunakan berdasarkan hasil *trial and error* adalah yang paling mendekati antara eksperimental dan teoritis.

Modifikasi nilai n pada beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja disajikan pada Tabel 4.35 dibawah ini,

Tabel 4.35. Modifikasi Nilai n Beton ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja

Kode benda uji	Modifikasi nilai n
B0F1.5	$n = 0.8 + \frac{200}{f_{ca}}$
B15F1.5	$n = 0.8 + \frac{95}{f_{ca}}$
B50F1.5	$n = 0.8 + \frac{60}{f_{ca}}$
B100F1.5	$n = 0.8 + \frac{40}{f_{ca}}$

Hasil modifikasi nilai n dari Tabel 4.35 kemudian dihitung dan hasilnya dimasukkan ke dalam Persamaan 4.4. Hasil perhitungan dari Persamaan 4.4 dinyatakan dalam bentuk grafik kurva tegangan dan regangan yang dapat dilihat pada Gambar 4.28 dibawah ini,



Gambar 4.28. Hubungan Tegangan dan Regangan Beton dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja

Berdasarkan Gambar 4.28 terdiri dari empat grafik kurva tegangan dan regangan yaitu kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 0% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja atau B0F1.5 (a), kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 15% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja atau B15F1.5 (b), kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 50% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja atau B50F1.5 (c) dan kurva tegangan dan regangan beton dengan campuran 100% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja atau B100F1.5 (d). Tegangan yang dihasilkan pada kadar serat 1.5% menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada tegangan dengan kadar serat 0% dan 0.75%. Namun, penggunaan ALWA *Styrofoam* sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan. Semakin sedikit komposisi ALWA *Styrofoam* maka nilai a pada modifikasi n semakin kecil. Penggunaan nilai a pada modifikasi nilai n yang digunakan berdasarkan hasil *trial and error* adalah yang paling mendekati antara eksperimental dan teoritis.

4.6.4. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara besarnya nilai tegangan dan regangan. Menurut ACI 318-08, untuk menghitung modulus elastisitas beton, nilai tegangan yang digunakan adalah 45% dari tegangan maksimum ($0.45f_c$). Berikut ini adalah hasil perhitungan modulus elastisitas beton,

Tabel 4.36. Modulus Elastisitas Beton ALWA *Styrofoam* dan 0% Serat Baja

Kode Benda Uji	f_c (MPa)	$0.45f_c$ (MPa)	$\epsilon_{0.45f_c}$	E_c (MPa)	$E_{c \text{ rata-rata}}$ (MPa)
BF0-4	32.58	14.66	0.000578	25384	26818
BF0-5	34.21	15.43	0.000554	27857	
BF0-6	33.66	15.16	0.000557	27212	
BF15-4	20.30	9.1	0.000440	20756	21213
BF15-5	24.65	11.1	0.000510	21755	
BF15-6	22.53	10.1	0.000480	21128	
BF50-4	16.57	7.46	0.000440	16951	15453
BF50-5	14.35	6.46	0.000421	15338	
BF50-6	13.97	6.29	0.000447	14069	
BF100-4	11.46	5.18	0.000418	12400	12924
BF100-5	11.60	5.23	0.000406	12887	
BF100-6	12.57	5.66	0.000420	13483	

Tabel 4.37. Modulus Elastisitas Beton ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja

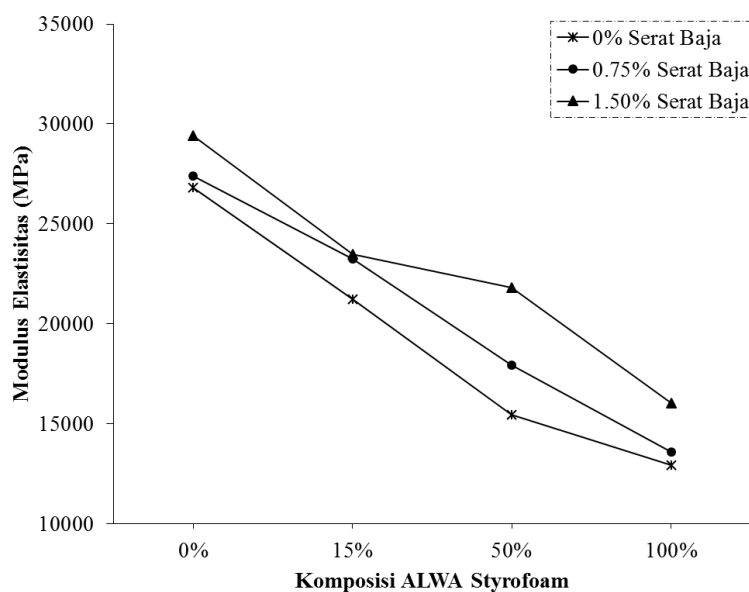
Kode Benda Uji	f'_c (MPa)	$0.45f'_c$ (MPa)	$\varepsilon_{0.45f'_c}$	E_c (MPa)	$E_{c\text{rata-rata}}$ (MPa)
B0F0.75-4	36.32	16.32	0.000593	27544	27404
B0F0.75-5	36.07	16.42	0.000610	26899	
B0F0.75-6	36.47	16.22	0.000584	27769	
B15F0.75-4	28.65	12.87	0.000526	24461	23231
B15F0.75-5	27.22	12.25	0.000521	23507	
B15F0.75-6	25.73	11.59	0.000534	21724	
B50F0.75-4	18.61	8.37	0.000480	17435	17916
B50F0.75-5	20.12	9.05	0.000492	18397	
B50F0.75-6	24.36	10.97	0.000593	18499	
B100F0.75-4	13.54	6.092	0.000446	13659	13641
B100F0.75-5	13.97	6.289	0.000452	13914	
B100F0.75-6	13.11	5.888	0.000441	13350	

Tabel 4.38. Modulus Elastisitas Beton ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja

Kode Benda Uji	f'_c (MPa)	$0.45f'_c$ (MPa)	$\varepsilon_{0.45f'_c}$	E_c (MPa)	$E_{c\text{rata-rata}}$ (MPa)
B0F1.5-4	41.04	18.47	0.000636	29039	29431
B0F1.5-5	47.76	21.54	0.000846	25477	
B0F1.5-6	43.21	19.44	0.000652	29823	
B15F1.5-4	26.91	12.11	0.000575	21062	23495
B15F1.5-5	30.13	13.55	0.000536	25270	
B15F1.5-6	28.39	12.77	0.000529	24153	
B50F1.5-4	27.08	12.19	0.000557	21883	21824
B50F1.5-5	26.22	11.79	0.000532	22165	
B50F1.5-6	25.15	11.31	0.000528	21423	
B100F1.5-4	17.92	8.07	0.000518	15578	16047
B100F1.5-5	18.14	8.15	0.000527	15467	
B100F1.5-6	20.23	9.10	0.000532	17097	

Tabel 4.39. Modulus Elastisitas (E_c) Beton Teoritis dan Eksperimental

Kode Benda Uji	E_c Eksperimental (MPa)	E_c Teoritis (MPa)	Selisih (%)
BF0	26818	26818	1.4
BF15	21213	21213	4.8
BF50	15406	15406	15.2
BF100	12924	12924	20.2
B0F0.75	27404	28312	3.21
B15F0.75	23231	24505	5.20
B50F0.75	17916	20680	13.37
B100F0.75	13860	17558	21.06
B0F1.5	29431	30504	3.52
B15F1.5	23495	25074	6.30
B50F1.5	21824	24031	9.19
B100F1.5	16047	20352	21.15



Gambar 4.29. Hubungan Modulus Elastisitas dengan Komposisi ALWA Styrofoam

Berdasarkan hasil pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat bahwa modulus elastisitas beton menurun seiring penambahan ALWA Styrofoam. Penambahan Serat baja pada beton ALWA Styrofoam mampu meningkatkan nilai

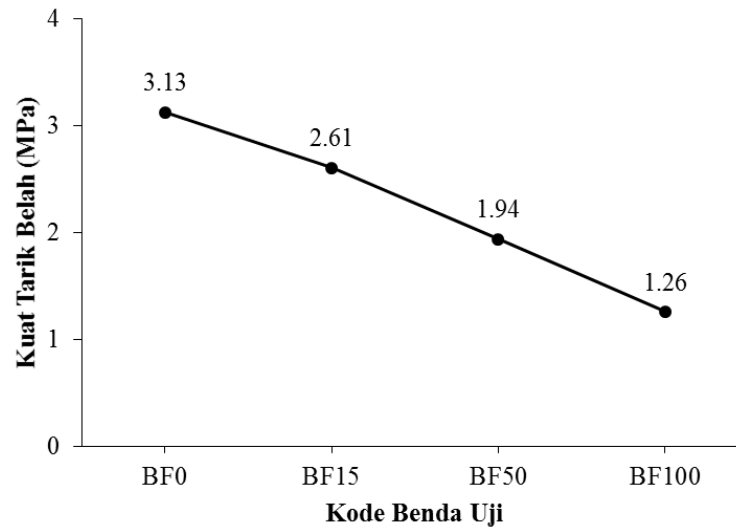
modulus elastistas. Nilai modulus elastisitas maksimum yaitu pada beton dengan penggunaan 0% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja (B0F1.5) sebesar 26818 MPa. Peningkatan modulus elastisitas antara beton normal (BF0) dan beton dengan penggunaan 0% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja (B0F1.5) adalah sebesar 14%. Nilai modulus elastisitas beton (E_c) berbanding lurus dengan nilai kekuatan tekan beton. Semakin tinggi nilai kekuatan tekan beton maka nilai modulus elastisitas yang dihasilkan semakin besar. Beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* bersifat daktil, karena semakin banyak komposisi ALWA *Styrofoam* yang digunakan nilai modulus elastisitas beton semakin rendah.

4.6.4. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Belah Beton

Beton memiliki sifat getas (*brittle*) sehingga untuk menahan retak-retak yang terjadi maka digunakan serat baja. Hasil pengujian kekuatan tarik belah beton ALWA *Styrofoam* tanpa penambahan Serat baja dapat dilihat pada Tabel 4.40. dibawah ini :

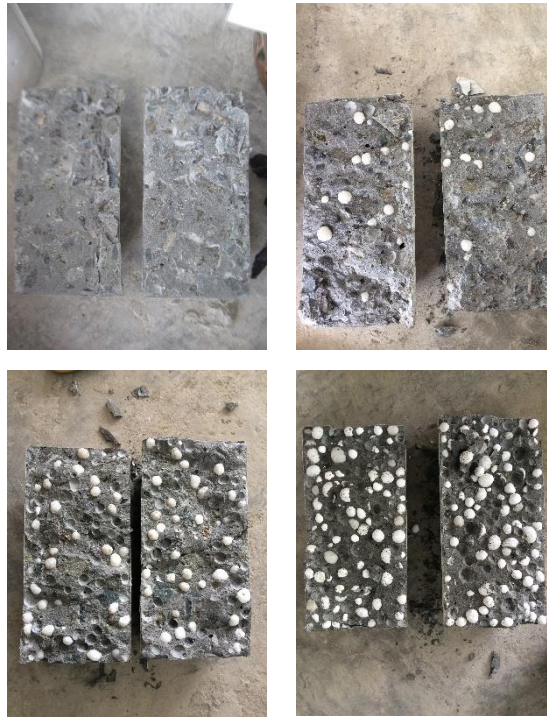
Tabel 4.40. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA *Styrofoam* tanpa Penambahan Serat Baja

Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Panjang Benda Uji, L (mm)	Diameter Benda Uji, D (mm)	P_{maks} (kN)	Kuat Tarik Belah, f_{ct} (MPa)	f_{ct} rata-rata (MPa)
BF0	1	200	100	98	3.12	3.13
	2			100	3.18	
	3			97	3.09	
BF15	1	200	100	72	2.29	2.61
	2			90	2.86	
	3			84	2.67	
BF50	1	200	100	63	2.01	1.94
	2			61	1.94	
	3			59	1.88	
BF100	1	200	100	32	1.02	1.26
	2			43	1.37	
	3			44	1.40	



Gambar 4.30. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA *Styrofoam* tanpa Serat Baja

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.40 dan Gambar 4.30 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik belah menurun seiring bertambahnya kadar ALWA *Styrofoam*. Kekuatan tarik belah maksimum sebesar 3.13 MPa yaitu pada beton normal (BF0). Sedangkan, beton yang menggunakan ALWA *Styrofoam* tanpa serat baja menghasilkan kekuatan tekan optimum sebesar 2.61 MPa yaitu pada beton dengan 15% ALWA *Styrofoam* (BF15). Kekuatan tekan minimum yaitu pada beton dengan komposisi ALWA *Styrofoam* 100% (BF100). Saat pengujian kekuatan tarik belah beton, beton ALWA *Styrofoam* tanpa serat langsung terbelah menjadi dua bagian ketika mencapai beban maksimum. Semakin banyak komposisi ALWA *Styrofoam*, beton semakin cepat terbelah karena beban maksimum yang dihasilkan lebih rendah daripada beton normal. Bentuk patahan hasil pengujian kekuatan tarik belah dapat dilihat pada Gambar 4.31 dibawah ini,

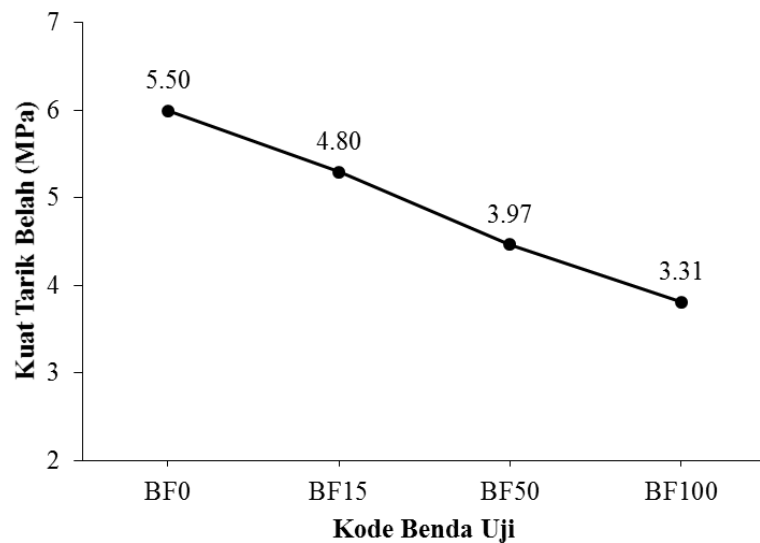


Gambar 4.31. Beton dengan ALWA *Styrofoam* Terbelah Menjadi Dua Bagian

Hasil pengujian kekuatan tarik belah beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja sebanyak 0.75% dapat dilihat pada Tabel 4.41 dibawah ini :

Tabel 4.41. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 0.75% Serat Baja

Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Panjang Benda Uji, L (mm)	Diameter Benda Uji, D (mm)	P_{maks} (kN)	Kuat Tarik Belah, f_{ct} (MPa)	f_{ct} rata-rata (MPa)
B0F0.75	1	200	100	169	5.38	5.50
	2			174	5.54	
	3			175	5.57	
B15F0.75	1	200	100	144	4.58	4.80
	2			144	4.58	
	3			164	5.22	
B50F0.75	1	200	100	131	4.17	3.97
	2			116	3.69	
	3			127	4.04	
B100F0.75	1	200	100	103	3.28	3.31
	2			108	3.44	
	3			101	3.21	



Gambar 4.32. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 0.75% Serat Baja

Pada Tabel 4.41 dan Gambar 4.39 dapat dilihat hasil pengujian kekuatan tarik belah beton dengan penambahan Serat baja mengalami peningkatan, nilai kekuatan tarik yang dihasilkan lebih tinggi daripada beton ALWA *Styrofoam* tanpa serat. Penggunaan ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja tidak terbelah menjadi dua bagian karena serat baja menahan beton agar tidak terbelah. Pada beton tanpa serat, beton semakin cepat terbelah seiring bertambahnya komposisi ALWA *Styrofoam*, namun dengan penambahan Serat baja, beton dengan komposisi 100% ALWA *Styrofoam* tetap tidak terbelah menjadi dua bagian.

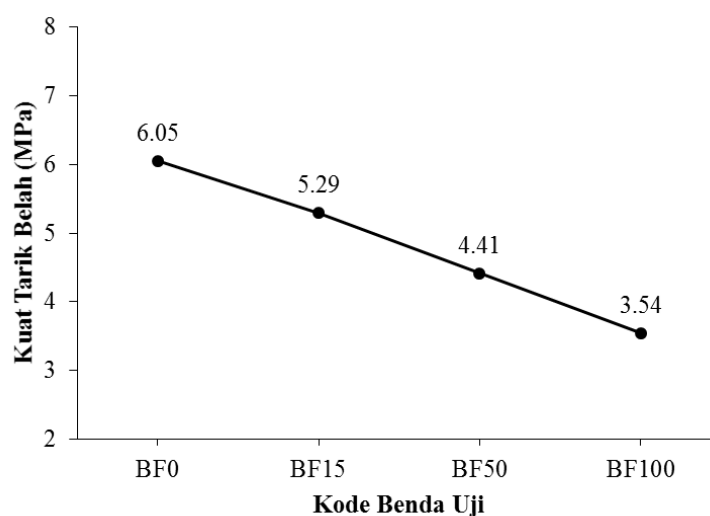


Gambar 4.33. Beton dengan Komposisi 100% ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja Tidak Terbelah Menjadi Dua Bagian.

Hasil pengujian kekuatan tarik belah beton ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja sebanyak 1.5% dapat dilihat pada Tabel 4.42 dibawah ini :

Tabel 4.42. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 1.5% Serat Baja

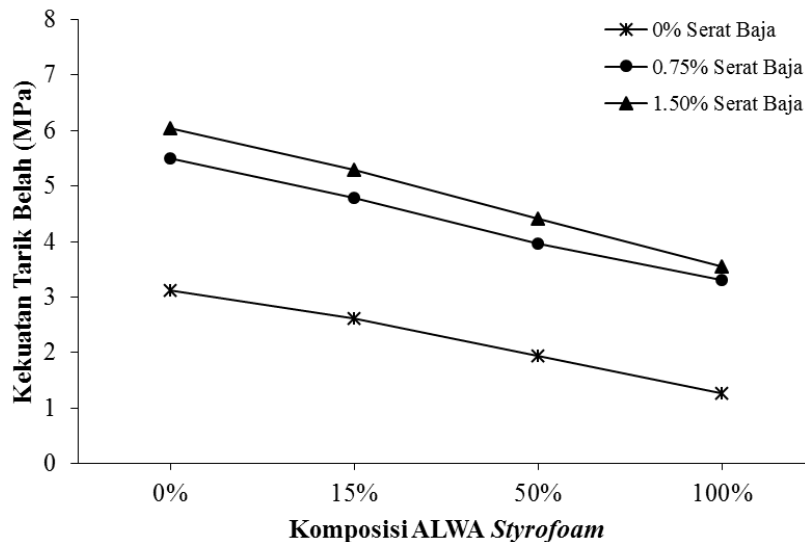
Kode Benda Uji	No. Benda Uji	Panjang Benda Uji, L (mm)	Diameter Benda Uji, D (mm)	P_{maks} (kN)	Kuat Tarik Belah, f_{ct} (MPa)	f_{ct} rata-rata (MPa)
B0F1.5	1	200	100	200	6.37	6.05
	2			187	5.95	
	3			183	5.83	
B15F1.5	1	200	100	166	5.28	5.29
	2			165	5.25	
	3			168	5.35	
B50F1.5	1	200	100	143	4.55	4.41
	2			136	4.33	
	3			137	4.36	
B100F1.5	1	200	100	115	3.66	3.54
	2			111	3.53	
	3			108	3.44	



Gambar 4.34. Kekuatan Tarik Belah Beton ALWA *Styrofoam* dengan Penambahan 1.5% Serat Baja

Dari hasil pengujian kekuatan tarik belah beton pada Tabel 4.42 dan Gambar 4.34 Dapat dilihat, beton dengan penambahan Serat baja semakin mengalami peningkatan, nilai kekuatan tarik yang dihasilkan lebih tinggi daripada

beton ALWA *Styrofoam* dengan 0.75% Serat baja. Penggunaan ALWA *Styrofoam* dengan penambahan serat baja tidak terbelah menjadi dua bagian karena serat baja menahan beton agar tidak terbelah.



Gambar 4.35. Hubungan Penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Penambahan Serat Baja terhadap Kekuatan Tarik Belah

Dari hasil pengujian kekuatan tarik belah pada Gambar 4.35 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan serat ALWA *Styrofoam* mampu meningkatkan kekuatan tarik belah beton, semakin banyak konsentrasi serat yang ditambahkan maka nilai kekuatan tarik belahnya semakin meningkat. Mekanisme kegagalan yang terjadi pada kekuatan tarik belah beton normal dan beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* tanpa penambahan serat baja bersifat getas sedangkan beton dengan penambahan serat baja pada beton bersifat daktail, karena saat mencapai beban maksimum beton tidak terbelah menjadi dua bagian, hanya terjadi retak memanjang pada bagian tengah beton. Penelitian ini hampir sama dengan hasil penelitian Ananta ariatama (2007) dengan menggunakan Serat baja berkait bahwa saat pengujian kuat tarik belah beton tidak terbelah dan hanya terjadi retak memanjang dibagian tengah beton.

4.6.5. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Beton

Pengujian lentur dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Serat baja. Pembebanan yang digunakan untuk pengujian kekuatan lentur adalah *third point loading*. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kekuatan lentur adalah beton ALWA *Styrofoam* dan Serat baja yang memiliki kekuatan tekan maksimum yaitu beton dengan komposisi 15% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja (B15F1.5). Dari hasil pengujian kekuatan lentur diperoleh nilai P_{cr} pada saat balok mengalami retak pertama (*first crack*) dan P_{maks} saat balok mencapai beban maksimum. Kemampuan balok beton dengan ALWA *Styrofoam* dan Serat baja dalam menahan beban maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.43 dan Tabel 4.44 dibawah ini :

Tabel 4.43. Hasil Perhitungan Modulus Keruntuhan Saat Retak Pertama

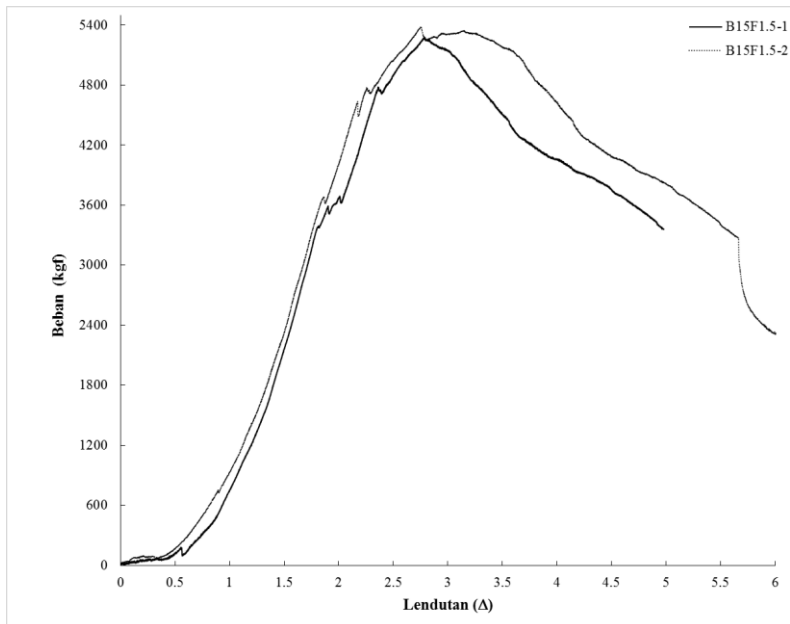
Kode benda uji	Dimensi Balok			y	P_{cr}	M_{cr}	f_r
	b	h	L				
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(N.mm)	(MPa)
B15F1.5 - 01	150	150	600	75	35690	3569007	6.34
B15F1.5 - 02	150	150	600	75	36694	3669385	6.52
Rata-rata					36192	3619196	6.43

Tabel 4.44. Hasil Perhitungan Modulus Keruntuhan Saat Beban Maksimum

Kode benda uji	Dimensi Balok			y	P_{maks}	M_{maks}	f_r
	b	h	L				
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(N.mm)	(MPa)
B15F1.5 - 01	150	150	600	75	52770	5277031	9.38
B15F1.5 - 02	150	150	600	75	53822	5382189	9.57
Rata-rata					53296	5329610	9.47

Berdasarkan Tabel 4.43 dan Tabel 4.44 dapat dilihat bahwa saat beban retak awal (f_{cr}) diperoleh nilai f_r (modulus keruntuhan) rata-rata sebesar 6.43 sedangkan saat mencapai beban maksimum diperoleh nilai f_r (modulus keruntuhan) rata-rata sebesar 9.47 MPa. Pola retak balok terjadi ditengah bentang kemudian merambat vertikal ke atas hingga mencapai beban maksimum. Penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Serat baja mampu menahan balok karena balok tidak terbelah menjadi dua

bagian. Grafik hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



Gambar 4.36. Hubungan Beban dan Lendutan Balok dengan Penggunaan 15% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja



Gambar 4.37. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Balok dengan Penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Serat Baja

Menurut SNI 03-2847-2013 persamaan yang digunakan untuk menghitung modulus keruntuhan (f_r) beton normal adalah $0.62\sqrt{f'_c}$. Persamaan tersebut merupakan korelasi antara kekuatan tekan dan kekuatan lentur. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan untuk beton dengan penggunaan 15% ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja diperoleh kekuatan sebesar 28.5 MPa. Sehingga dari hasil

pengujian kekuatan lentur dapat dihitung koefisien (k) untuk mengetahui korelasi antara kekuatan tekan dan kekuatan lentur ($k\sqrt{f'c}$). Berikut ini adalah hasil perhitungan koefisien dan perbandingan analisa teoritis dan eksperimental :

Tabel 4.45. Perbandingan Analisa Teoritis dan Eksperimental

Analisa Teoritis				Eksperimental		
f_c (MPa)	Koef.	$f_r = 0.62\sqrt{f'c}$ (MPa)	$M_{cr} = \frac{f_r \times I}{y}$ (N.mm)	M_{cr} (N.mm)	f_r (MPa)	Koef.
28.5	0.62	3.31	1861076	3619196	6.43	1.21

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pada Tabel 4.41 diatas diperoleh nilai koefisien (k) sebesar 1.21 sehingga korelasi antara kekuatan tekan dan kekuatan lentur adalah $1,21\sqrt{f'c}$.

4.7. Rencana Anggaran Biaya Produksi Beton dengan Penggunaan ALWA Styrofoam dan Serat Baja

Rencana anggaran biaya yang dihitung dalam pembahasan ini adalah biaya yang akan dikeluarkan untuk pembuatan beton per meter kubik. Data biaya diambil dari harga pasaran di wilayah Surabaya. Adapun biaya produksi 1 m³ beton normal dan beton dengan penggunaan ALWA Styrofoam adalah sebagai berikut :

Tabel 4.46. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton Normal

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA Styrofoam	0	kg	Rp	9,375	-
6	Serat Baja	0	kg	Rp	16,000	-
				Jumlah	Rp	1,286,818

Tabel 4.47. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 15% ALWA Styrofoam

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA Styrofoam	38	kg	Rp	9,375	Rp 352,584
6	Serat Baja	0	kg	Rp	16,000	Rp -
				Jumlah	Rp	1,639,402

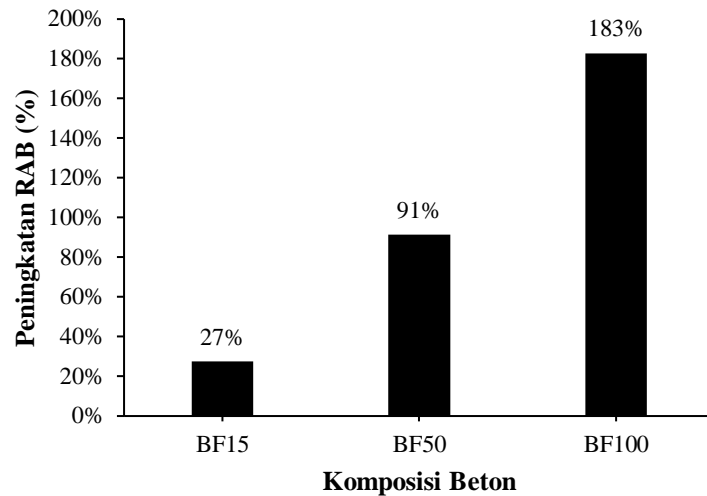
Tabel 4.48. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 50% ALWA Styrofoam

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA Styrofoam	125	kg	Rp	9,375	Rp 1,175,281
6	Serat Baja	0	kg	Rp	16,000	Rp -
				Jumlah	Rp	2,462,099

Tabel 4.49. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 100% ALWA Styrofoam

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA Styrofoam	251	kg	Rp	9,375	Rp 2,350,561
6	Serat Baja	0	kg	Rp	16,000	Rp -
				Jumlah	Rp	3,637,379

Peningkatan biaya beton dengan penggunaan ALWA Styrofoam dari beton normal dapat dilihat pada Gambar 4.38 dibawah ini,



Gambar 4.38. Peningkatan Biaya Pembuatan 1m³ Beton dengan Campuran
ALWA Styrofoam

Biaya pembuatan 1m³ beton dengan komposisi *ALWA Styrofoam* 15%, 50% dan 100% mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 27%, 91% dan 183% dari beton normal.

Biaya produksi 1 m³ beton dengan penggunaan *ALWA Styrofoam* dan 0.75% Serat baja adalah sebagai berikut :

Tabel 4.50. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 0% *ALWA Styrofoam* 0.75% Serat Baja

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	<i>ALWA Styrofoam</i>	0	kg	Rp	9,375	-
6	Serat Baja	52.13	kg	Rp	16,000	Rp 834,092
Jumlah						Rp 2,120,910

Tabel 4.51. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 15% ALWA *Styrofoam* 0.75% Serat Baja

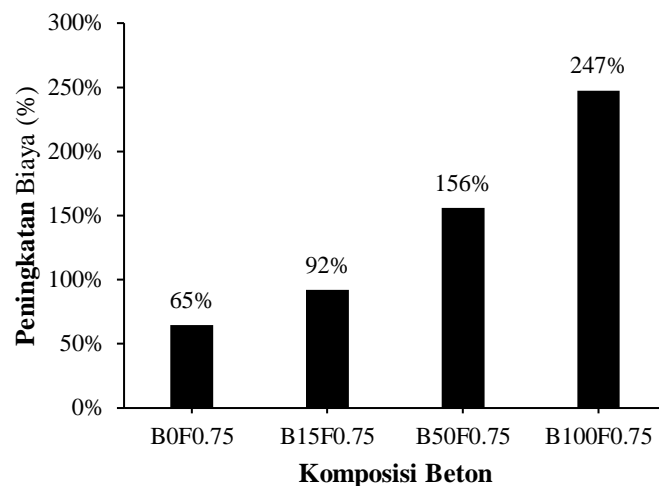
No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	38	kg	Rp	9,375	Rp 352,584
6	Serat Baja	52.13	kg	Rp	16,000	Rp 834,092
					Jumlah	Rp 2,473,494

Tabel 4.52. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 50% ALWA *Styrofoam* 0.75% Serat Baja

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	125	kg	Rp	9,375	Rp 1,175,281
6	Serat Baja	52.13	kg	Rp	16,000	Rp 834,092
					Jumlah	Rp 3,296,190

Tabel 4.53. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 100% ALWA *Styrofoam* 0.75% Serat Baja

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	251	kg	Rp	9,375	Rp 2,350,561
6	Serat Baja	52.13	kg	Rp	16,000	Rp 834,092
					Jumlah	Rp 4,471,471



Gambar 4.39. Peningkatan Biaya Pembuatan 1m³ Beton dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan 0.75% Serat Baja

Biaya pembuatan 1m³ beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* 0%, 15%, 50% dan 100% dan 0.75% Serat baja mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 65%, 92% dan 156% dan 247% dari beton normal.

Biaya produksi 1 m³ beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat baja adalah sebagai berikut :

Tabel 4.54. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 0% ALWA *Styrofoam* 1.5% Serat Baja

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	Rp -
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	0	kg	Rp	9,375	Rp -
6	Serat Baja	104.26	kg	Rp	16,000	Rp 1,668,183
Jumlah						Rp 2,955,001

Tabel 4.55 Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 15% ALWA *Styrofoam* 1.5% Serat Baja

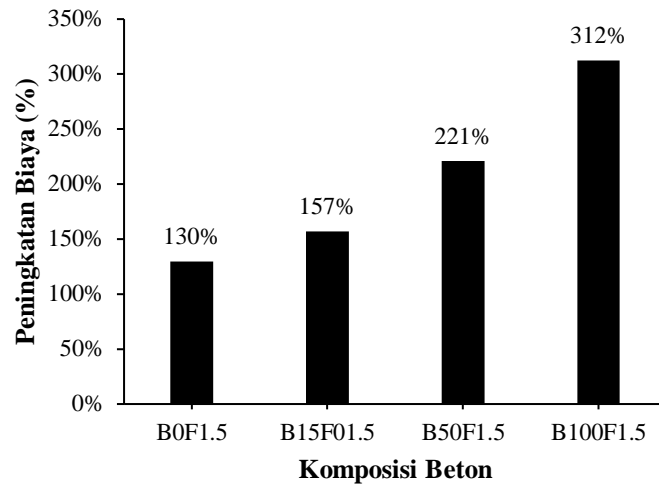
No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	38	kg	Rp	9,375	Rp 352,584
6	Serat Baja	104.26	kg	Rp	16,000	Rp 1,668,183
					Jumlah	Rp 3,307,585

Tabel 4.56. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 50% ALWA *Styrofoam* 1.5% Serat Baja

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	125	kg	Rp	9,375	Rp 1,175,281
6	Serat Baja	104.26	kg	Rp	16,000	Rp 1,668,183
					Jumlah	Rp 4,130,282

Tabel 4.57. Biaya Pembuatan 1 m³ Beton dengan 100% ALWA *Styrofoam* 1.5% Serat Baja

No.	Bahan	Kebutuhan per m ³	Satuan	Harga per satuan		Jumlah
1	Semen	700	kg	Rp	1,454	Rp 1,017,800
2	Pasir	542	kg	Rp	183	Rp 99,195
3	Batu pecah	923	kg	Rp	184	Rp 169,823
4	Air	210	kg	Rp	-	-
5	ALWA <i>Styrofoam</i>	251	kg	Rp	9,375	Rp 2,350,561
6	Serat Baja	104.26	kg	Rp	16,000	Rp 1,668,183
					Jumlah	Rp 5,305,562



Gambar 4.40. Peningkatan Biaya Pembuatan 1m^3 Beton dengan Campuran ALWA *Styrofoam* dan 1.5% Serat Baja

Biaya pembuatan 1m^3 beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* 0%, 15%, 50% dan 100% dan 1.5% Serat baja mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 130%, 157% dan 221% dan 312% dari beton normal.

Biaya pembuatan 1m^3 beton dengan penggunaan ALWA *Styrofoam* dan Serat baja lebih besar daripada beton normal, hal ini diakibatkan harga larutan Aseton yang mahal. Berdasarkan hasil pengujian mekanis, kekuatan tekan beton dengan campuran ALWA *Styrofoam* dan Serat baja sudah mencapai standar yang ditetapkan, namun dari segi biaya penggunaan ALWA *Styrofoam* kurang ekonomis karena *cost* yang dikeluarkan lebih besar daripada beton normal.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Penggunaan *ALWA Styrofoam* meningkatkan nilai slump. Semakin banyak *ALWA Styrofoam* yang digunakan maka nilai slump semakin meningkat. Namun dengan penambahan serat baja nilai slump menurun.
2. Volume beton menurun seiring bertambahnya komposisi *ALWA Styrofoam* namun dari segi kekuatan tekan mengalami penurunan. Kekuatan tekan beton meningkat saat ditambahkan Serat baja, semakin banyak kadar serat baja yang ditambahkan maka kekuatan tekannya semakin meningkat. Semakin besar kekuatan tekan beton maka modulus elastisitas dan kekuatan tarik belah beton semakin meningkat.
3. Beton dengan campuran *ALWA Styrofoam* dan Serat baja Beton bersifat lebih daktil, semakin banyak komposisi *ALWA Styrofoam* dan Serat baja yang digunakan pada campuran beton maka beton semakin daktil.
4. Komposisi optimum penggunaan *ALWA Styrofoam* pada campuran beton adalah sebesar 15%.
5. Penggunaan *ALWA Styrofoam* sebagai pengganti agregat kasar mampu mereduksi volume beton sebesar 35%, volume beton yang semakin ringan akan berdampak pada terhadap desain dimana akan mengurangi dimensi komponen utama bangunan struktur seperti kolom dan balok. Sehingga berat struktur dari suatu gedung akan menjadi ringan dan gaya geser gempa kecil sehingga *safety* dari bangunan tersebut lebih baik.
6. Beton dengan campuran *ALWA Styrofoam* dan serat baja mampu mencapai standar kekuatan minimum untuk beton struktural dan beton tahan gempa, sehingga *ALWA Styrofoam* dan serat baja layak untuk digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar. Selain itu,

penggunaan styorofoam sebagai bahan untuk pembuatan ALWA nantinya juga akan mengurangi limbah Styrofoam yang selama ini sulit diuraikan.

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lanjutan antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan Serat dengan campuran ALWA *Styrofoam*, misalnya menggunakan jenis serat lain seperti Serat *polypropylene*. Selain itu, juga bisa mengganti bentuk serat baja seperti gelombang (*crimped*), *Double duo form*, *Ordinary duo form*, Bundel (*paddled*), Kedua ujung ditebuk (*enfarged ends*), Tidak teratur (*irregular*) dan bergerigi (*idented*).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan pelarut untuk melarutkan *Styrofoam* agar lebih cepat kering dan lebih ekonomis.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan ALWA *Styrofoam* untuk beton bertulang terhadap kuat geser.
4. ALWA *Styrofoam* memiliki ikatan yang lemah dengan pasta semen sehingga perlu dilakukan perkuatan pada ALWA *Styrofoam*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariatama, Ananta. (2007), *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*, Tesis, Universitas Dipenogoro, Semarang.
- Abbas, Wasim. Khan, M. Iqbal. dan Mourad, Shehab (2018), "Evaluation of Mechanical Properties of Steel fiber Reinforced Concrete with Different Strengths of Concrete", *Construction and Building Material*, Vol 168, hal. 556-569.
- ACI 318, (2014), *Building Code Requirements for Structural Concrete and Comenntary*, American Concrete Institute, United Stated of America.
- ASTM C 29/C 29M (2003), *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*, United Stated of America.
- ASTM C 33-03, (2003), *Standard Specification for Concrete Aggregates*, United Stated of America.
- ASTM C 39 / C 39M, (2003), *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, United Stated of America.
- ASTM C 40, (2004), *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*, United Stated of America.
- ASTM C 78, (2002), *Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*, United Stated of America.
- ASTM C 117-03 (2003), *Standard Test Method for Material Finer than 75 μ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*, United Stated of America.
- ASTM C 127, (2001), *Standard Test Method for Density Relative Density (Spesific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*, United Stated of America.
- ASTM C 128, (2001), *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, United Stated of America.
- ASTM C 131, (2003), *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*, United Stated of America.

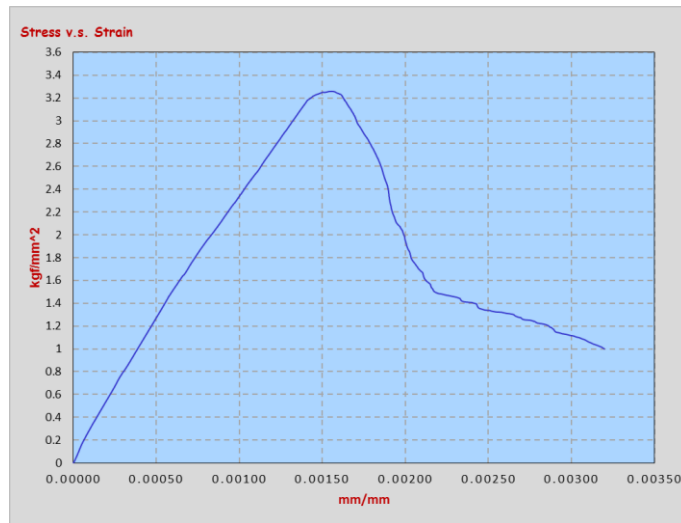
- ASTM C 136, (2001), *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, United States of America.
- ASTM C 566, (2004), *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*, United States of America.
- ASTM C 496/496M, (2004), *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, United States of America.
- Budhianto (1997), *Penggunaan Styrofoam Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Untuk Mendapatkan Beton Ringan*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- British Standard 812-112, (1990), *Testing Aggregates-Methods for determination of aggregate impact value (AIV)*, Part 112, British Standard Institution, London.
- Chinese National Standard GB50010, (2010), *Code for Design of Concrete Structures*, China Academy of Building Research, Beijing.
- D.C. Kent and R. Park, (1971), "Flexural Members with Confined Concrete", *Journal of Structural Division*, ASCE, Vol. 97, hal. 1969-1990
- Elsa Septia Miranda, dkk. (2016), "Kajian Pengaruh Penambahan Serat Bendrat dan Styrofoam Pada Beton Ringan Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur", *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil 1152*
- Enda Dedi, dkk. (2016), "Kajian Eksperimental Material Dan Elemen Dinding Beton Beragregat Kasar Styrofoam Dengan Lapisan Coating", *Jurnal teoritis dan terapan bidang rekayasa sipil*, Vol.23, No.3
- E. Hognestad, (1951), "A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members", *Bulletin Series No. 399*, hal. 128, University of Illinois Engineering Experimental Station
- Hendri, Adi Saputra (2011), *Studi Perilaku Susut Dan Kuat Tekan Pada Beton Dengan Menggunakan Serat Kawat Bendrat*. Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta
- Popovics S., (1973), "A Numerical Approach to The Complete Stress-Strain Curve of Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 3, No.5, hal. 583-599.
- Priyoni Yoppi dan Nadia (2014), "Pengaruh Penggunaan Styrofoam Sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton", *Jurnal Konstruksi*, Vol.5, No.2

- Purnawirati (2015), *Properti Mekanik Beton Ringan Menggunakan Agregat Kasar Batu Apung Serta Abu Terbang Sebagai Pengganti Sebagian Semen Portland Dan Superplasticizer*, Tesis, Universitas Udayana, Bali.
- Rommel, Erwin (2013), “Pembuatan Beton Ringan dari Agregat Buatan Berbahan Plastik”, *Jurnal GAMMA*, Vol. 9 no.1, ISSN 2086-3071.
- Satyarno, Iman, dkk., (2008), “Batako Styrofoam Komposit Mortar Semen”, *Jurnal Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, Vol. 18 No. 2
- Setiadi, Muhammad Irwan (2008), *Sintesis Maltovanilat Melalui Mekanisme Steglich Menggunakan Pelarut Aseton*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.
- Simamora, Nenni dan Harahap, Mukti Hamza (2015), “Pengaruh Penambahan Styrofoam dengan Pelarut Toluena terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Ringan”, *Jurnal Einstein*, Hal. 15-22 ISSN: 12338-1981
- Slamet Prayitno, dkk. (2016), “Pengaruh Penambahan Serat Bendrat dan Styrofoam Pada Beton Ringan Terhadap Kajian Kuat Tekan dan Kuat Geser”, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1064
- SNI 2461, (2002), *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*, Badan Standarisasi Nasional. Indonesia
- SNI 2847, (2013), *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Indonesia
- SNI 3402, (2008), *Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural*. Badan Standarisasi Nasional. Indonesia
- Sulistyowati, Nurul Aini dan Rakhman, Johnny (2015), “Karakteristik Aplikasi Bering (Beton Ringan) Alwa Pada Komponen Panel Risha (Rumah Instan Sederhana Sehat)”, *Jurnal Permukiman*, Vol. 10 No.1
- Thomas Tamut dkk. (2014), “Partial Replacement of Coarse Aggregates By Expanded Polystyrene Beads in Concrete”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 03 Issue 02, eISSN: 2319-1163 pISSN: 2321-7308, India.
- Widodo, Aris (2012). *Pengaruh Penggunaan Potongan Kawat Bendrat Pada Campuran Beton Dengan Konsentrasi Serat Panjang 4 Cm Berat Semen 350 Kg/m³ Dan FAS 0,5*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan Nomor 2 Vol., hal 131-140. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

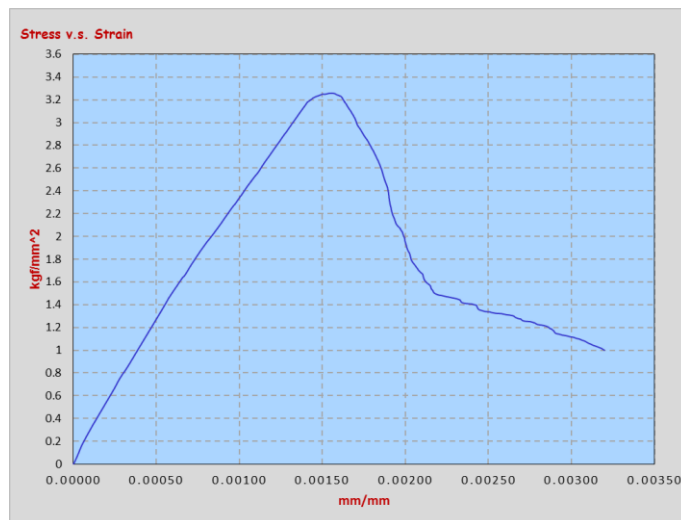
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Hasil Pengujian Kekuatan Tekan dan Modulus Elastisitas

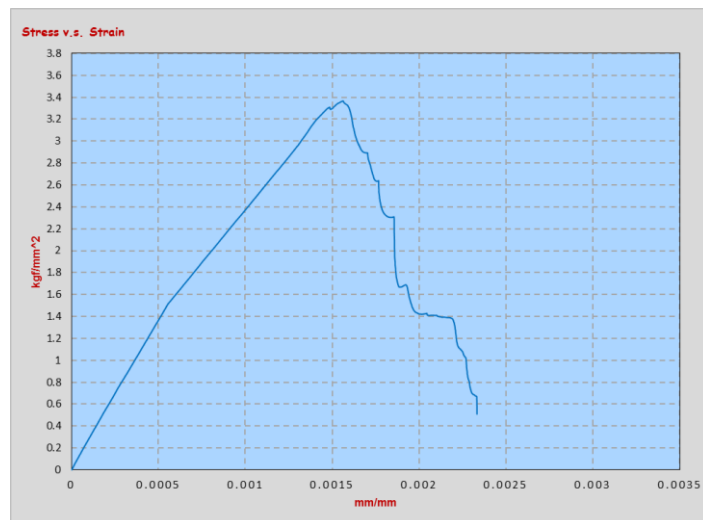
Kode Benda Uji : BF0-4



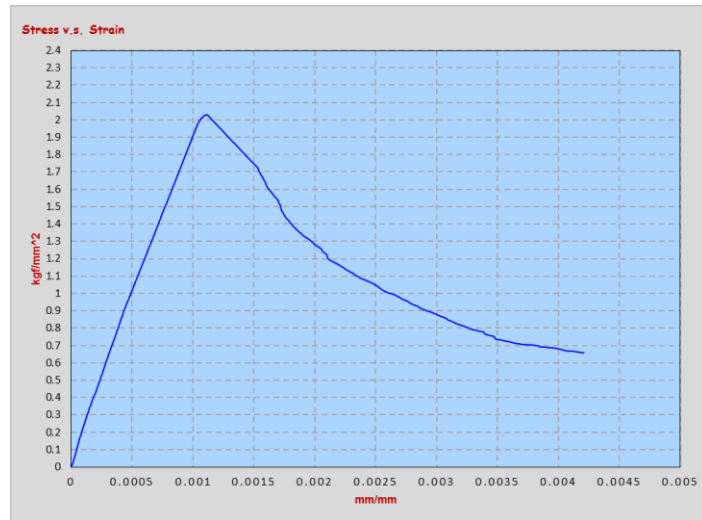
Kode Benda Uji : BF0-5



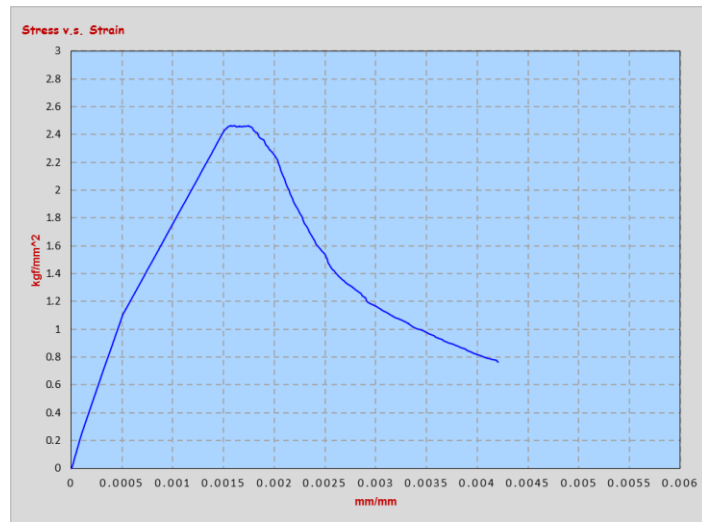
Kode Benda Uji : BF0-6



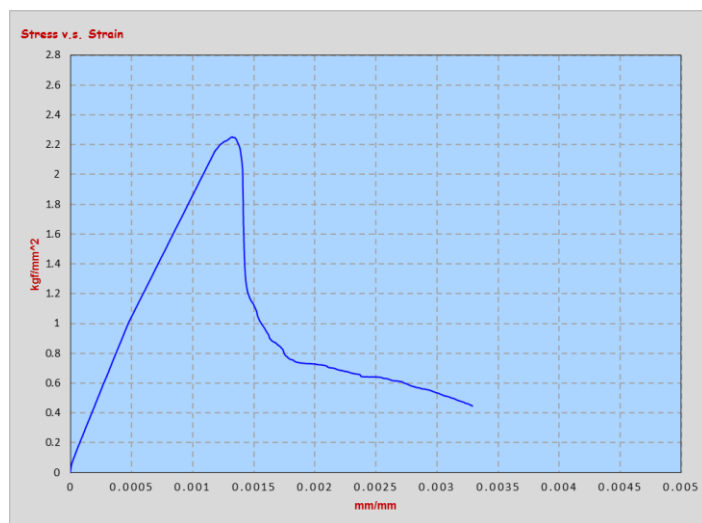
Kode Benda Uji : BF15-4



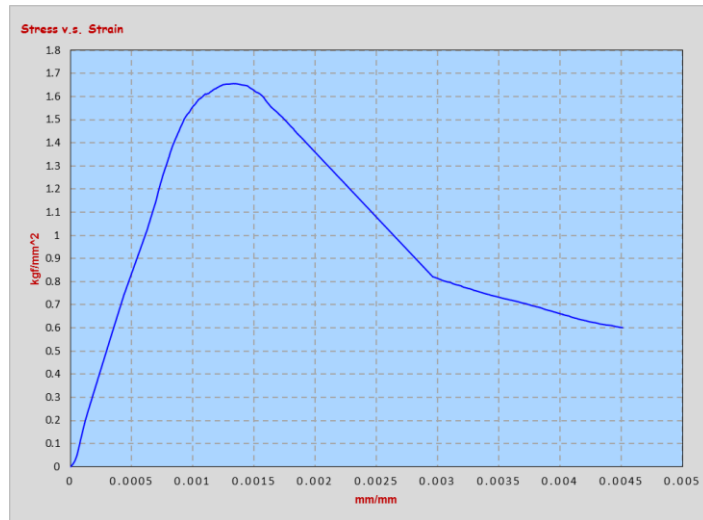
Kode Benda Uji : BF15-5



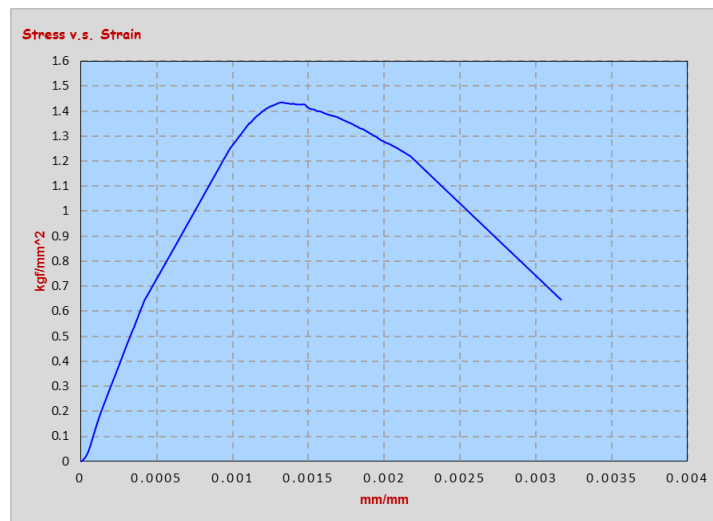
Kode Benda Uji : BF15-6



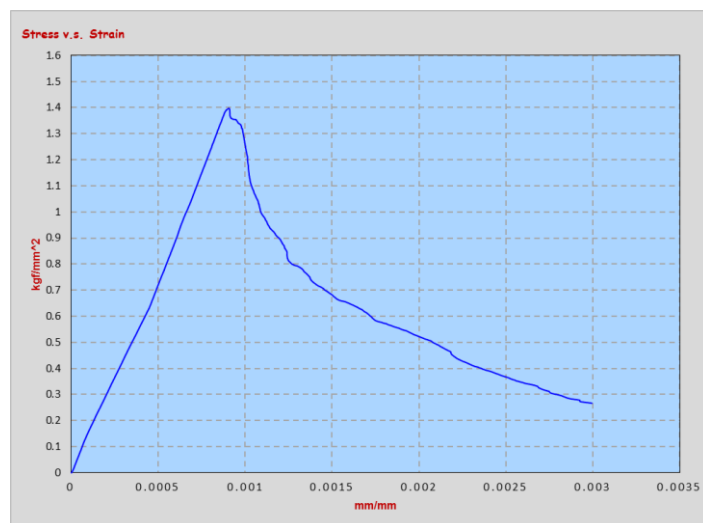
Kode Benda Uji : BF50-4



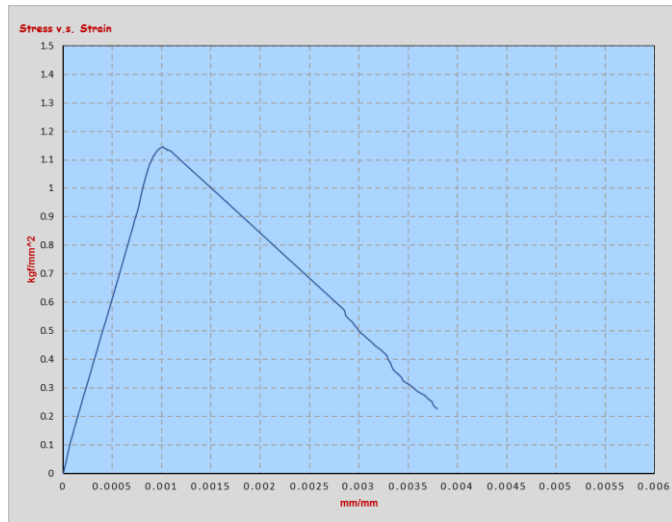
Kode Benda Uji : BF50-5



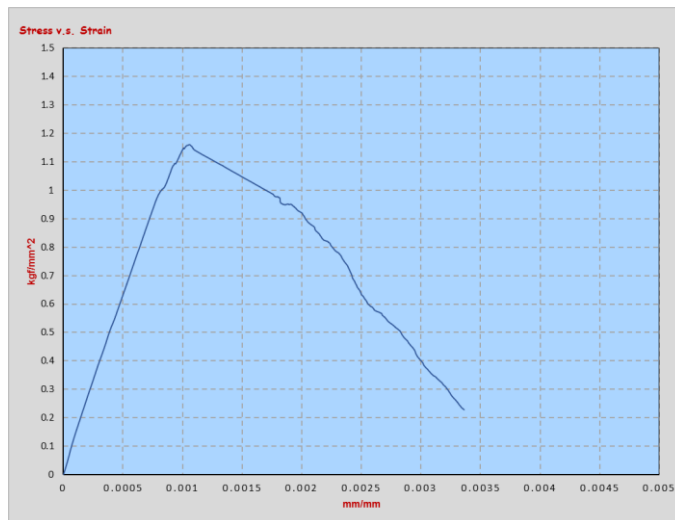
Kode Benda Uji : BF50-6



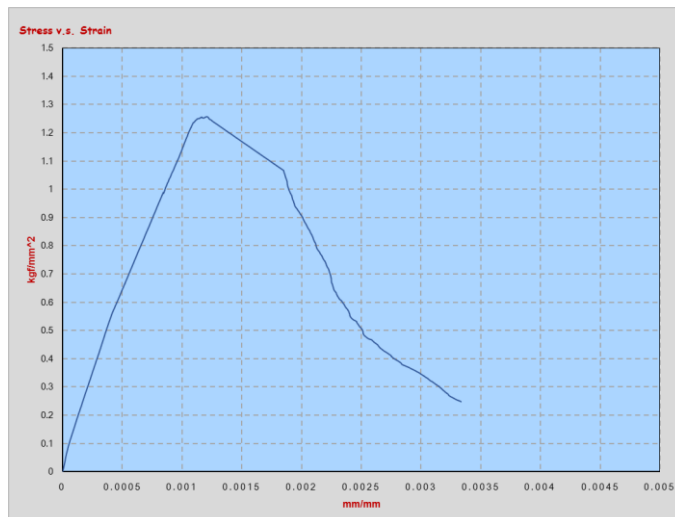
Kode Benda Uji : BF100-4



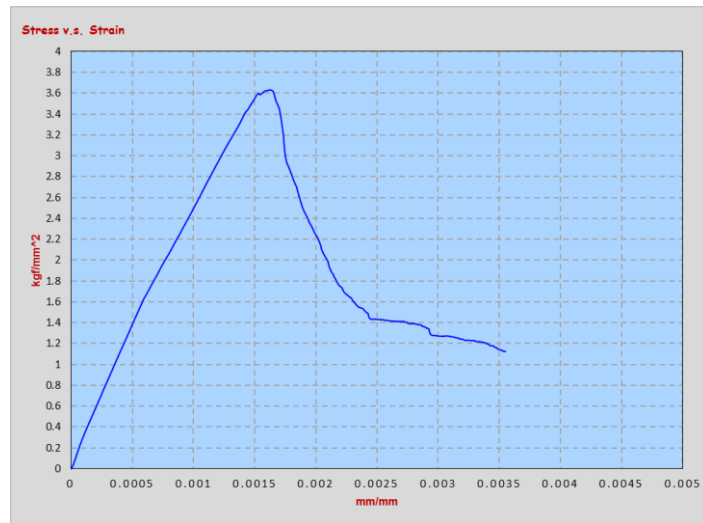
Kode Benda Uji : BF100-5



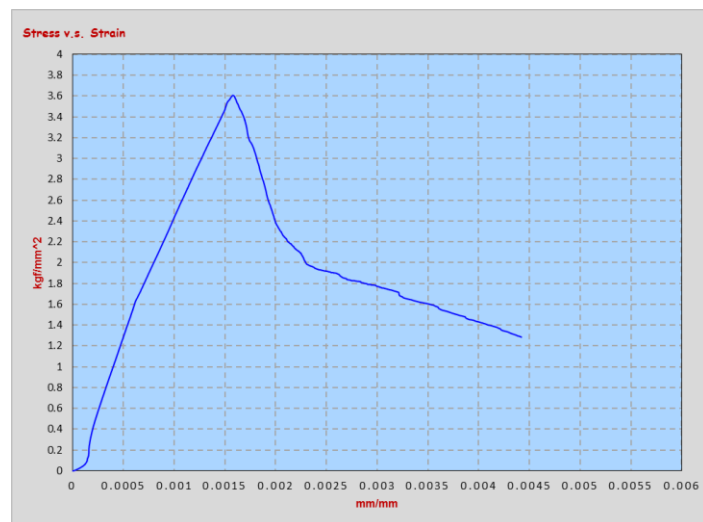
Kode Benda Uji : BF100-6



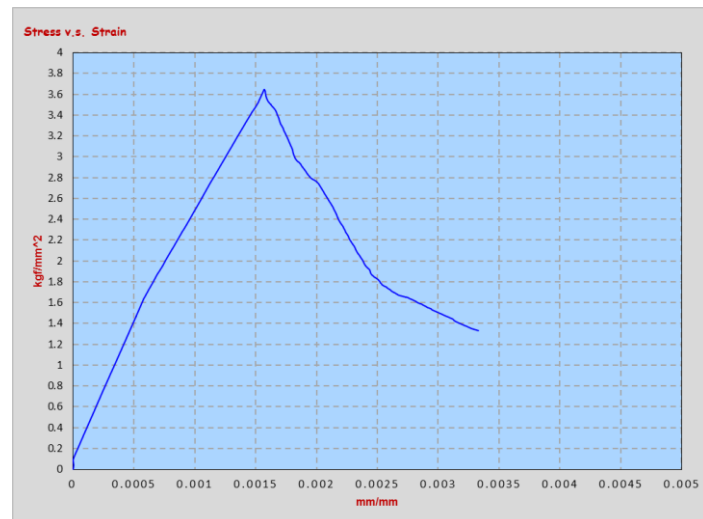
Kode Benda Uji : B0F0.75-4



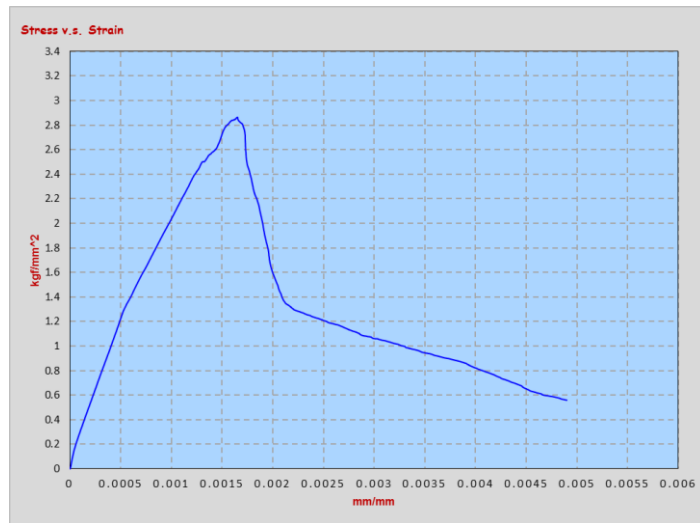
Kode Benda Uji : B0F0.75-5



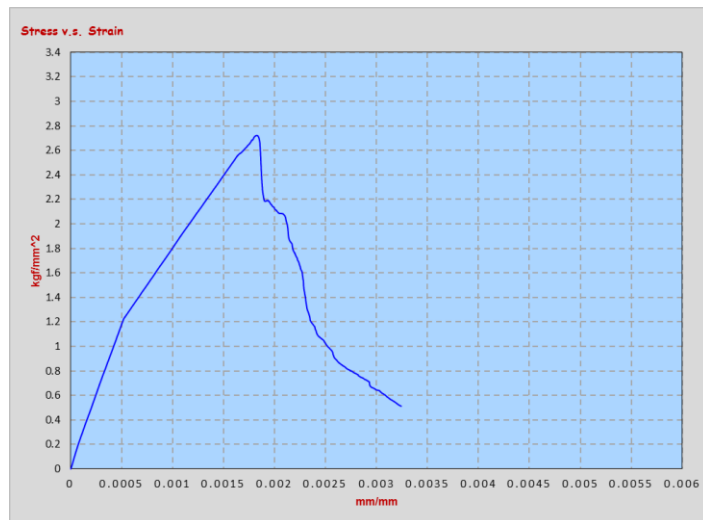
Kode Benda Uji : B0F0.75-6



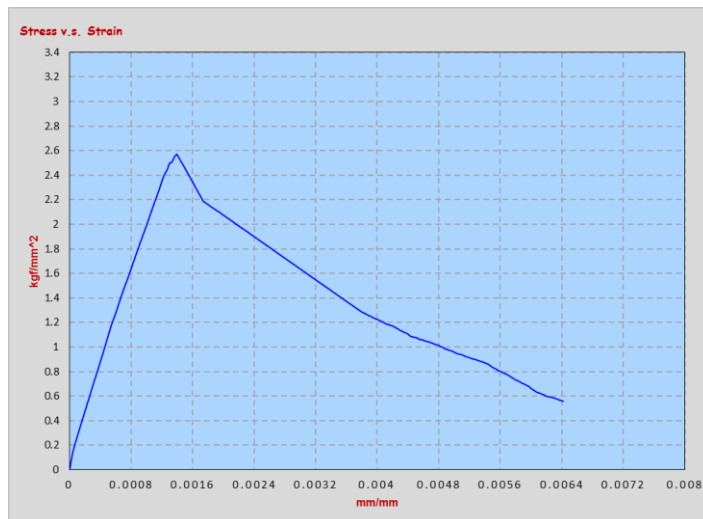
Kode Benda Uji : B15F0.75-4



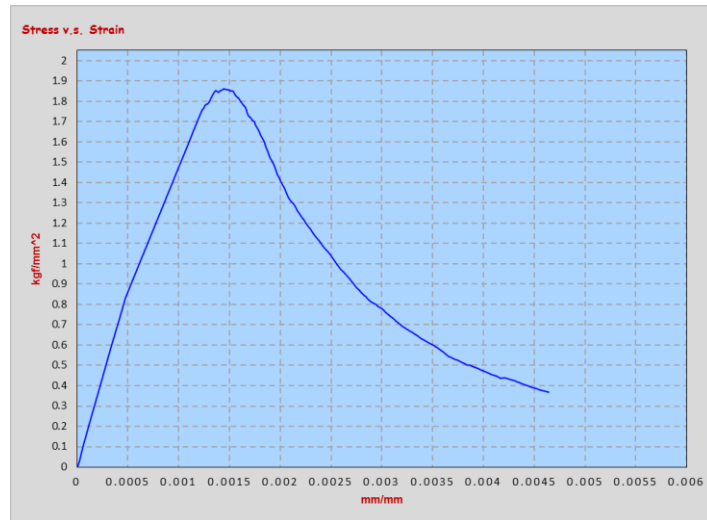
Kode Benda Uji : B15F0.75-5



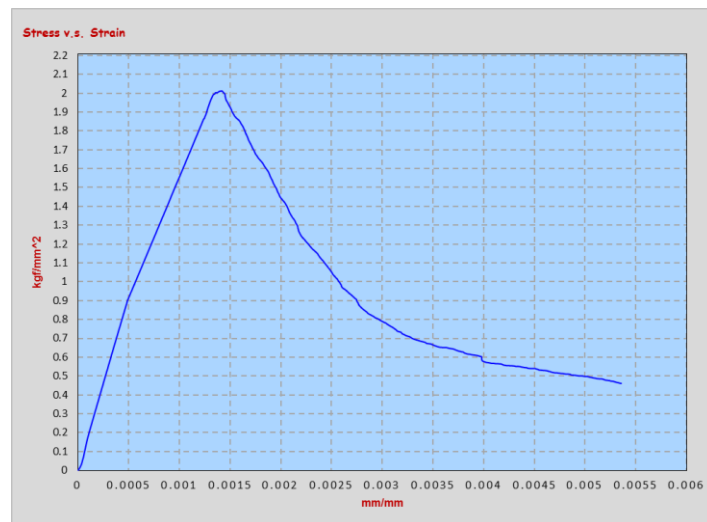
Kode Benda Uji : B15F0.75-6



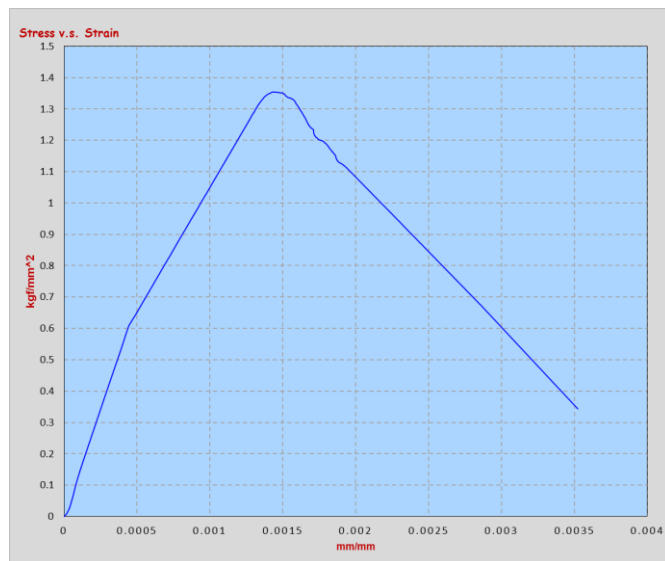
Kode Benda Uji : B50F0.75-4



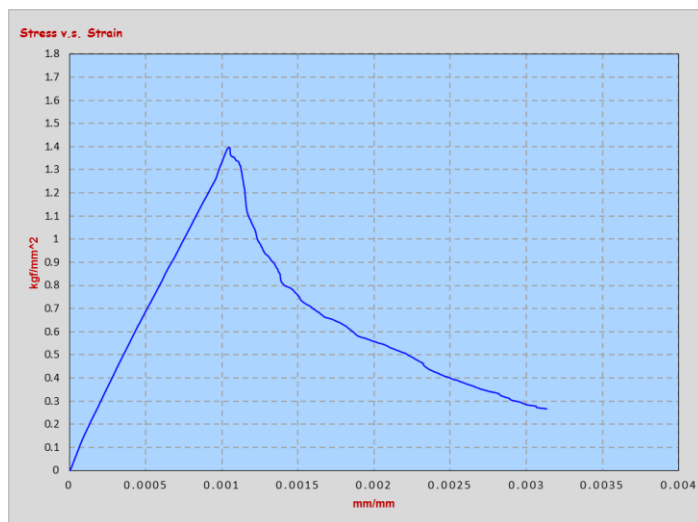
Kode Benda Uji : B50F0.75-5



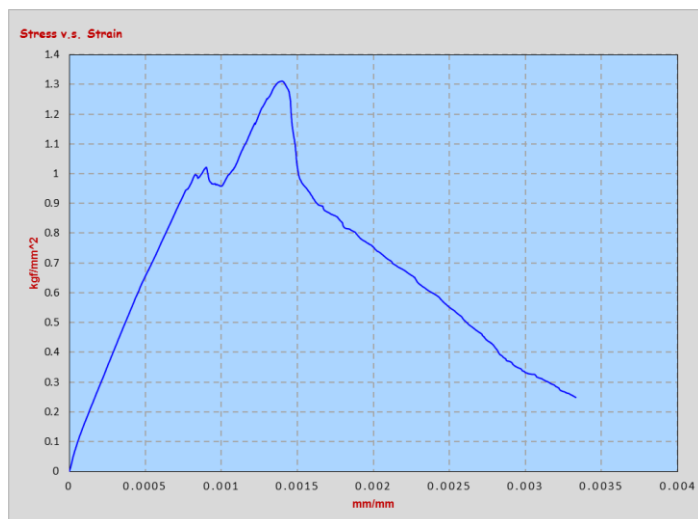
Kode Benda Uji : B100F0.75-4



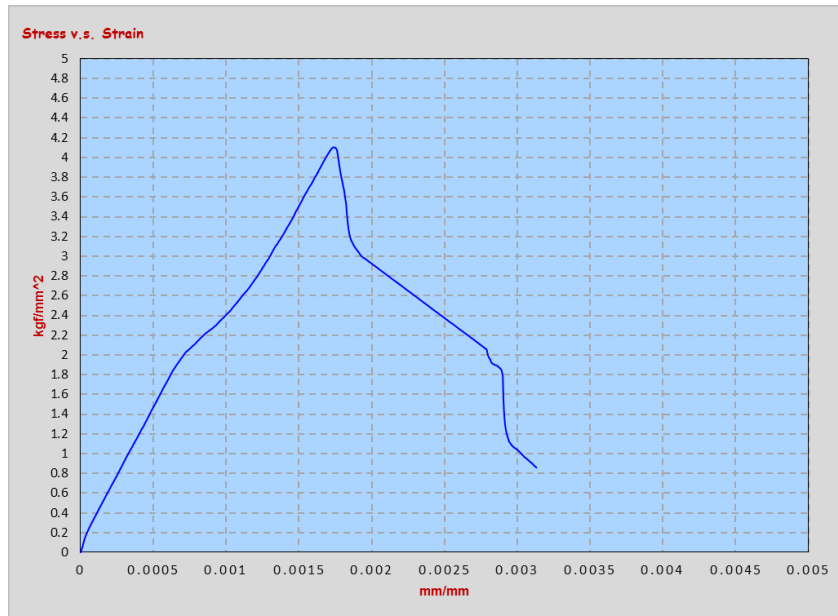
Kode Benda Uji : B100F0.75-5



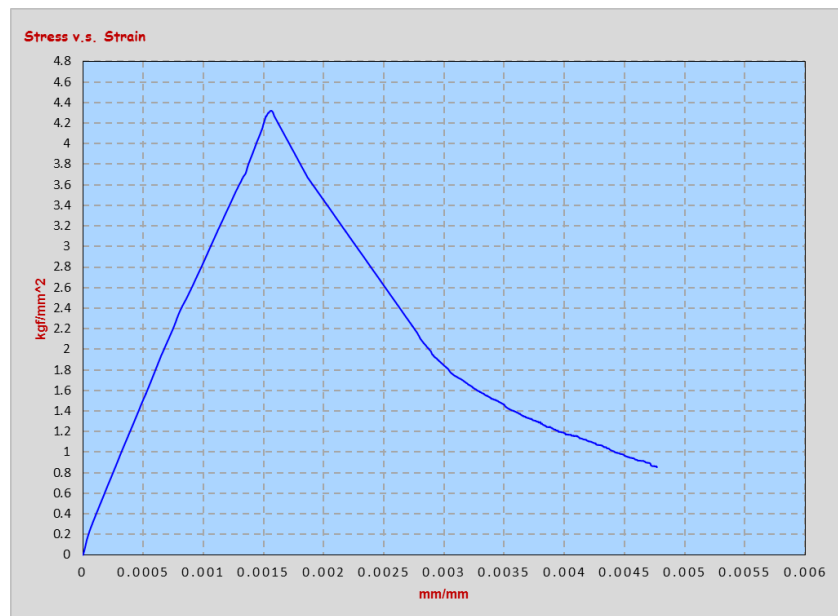
Kode Benda Uji : B100F0.75-6



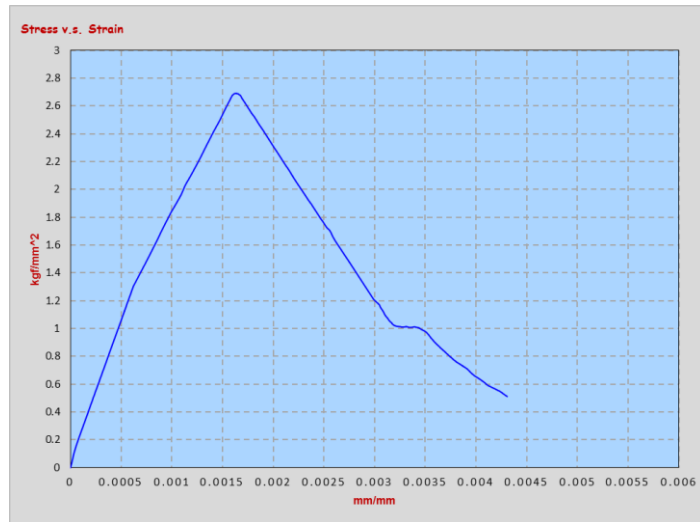
Kode Benda Uji : B0F1.5-4



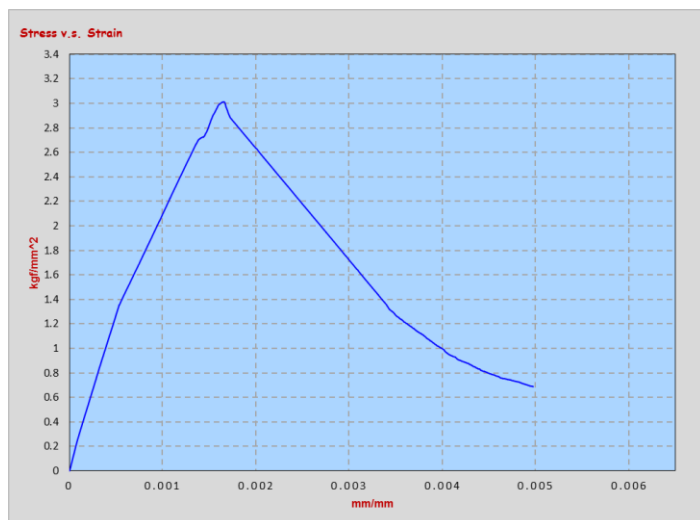
Kode Benda Uji : B0F1.5-6



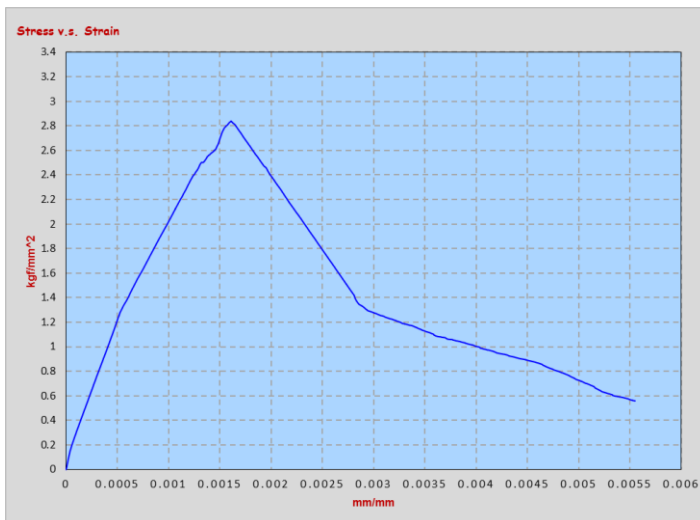
Kode Benda Uji : B15F1.5-4



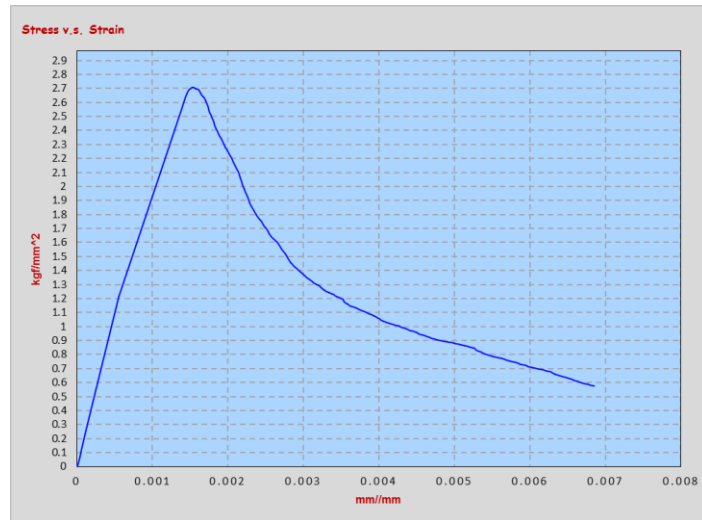
Kode Benda Uji : B15F1.5-5



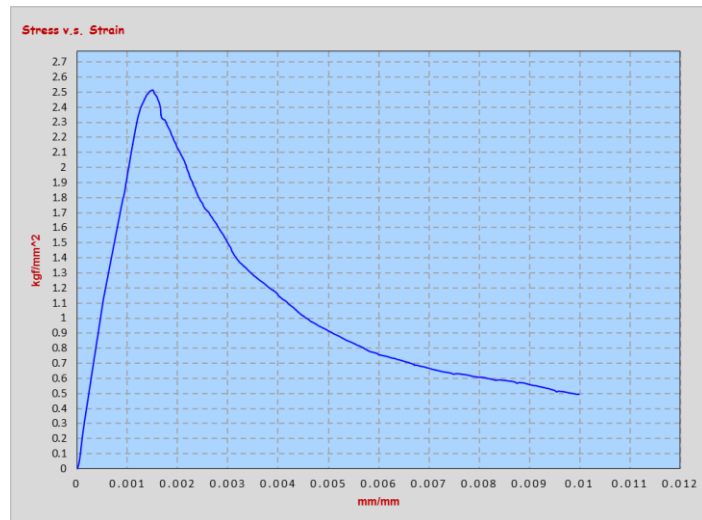
Kode Benda Uji : B15F1.5-6



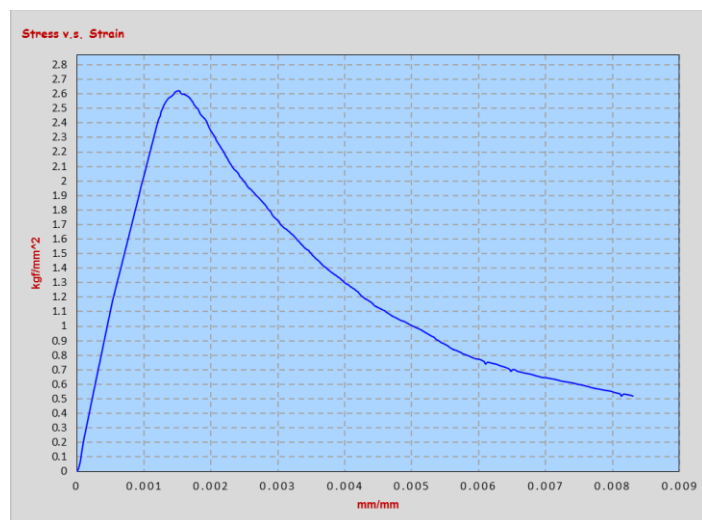
Kode Benda Uji : B50F1.5-4



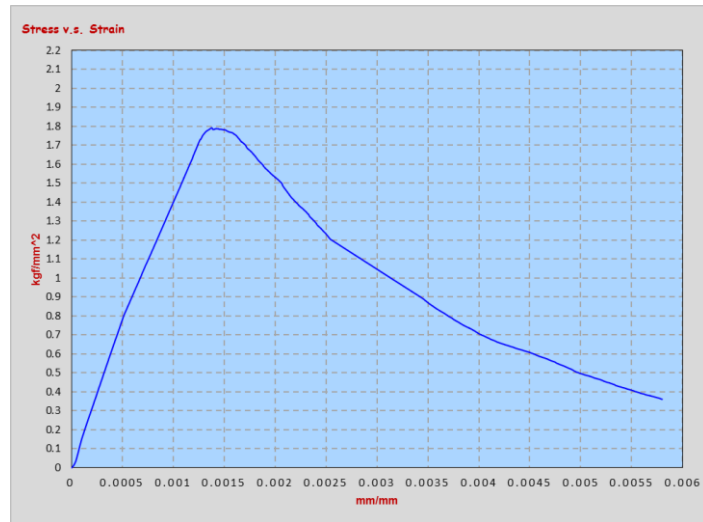
Kode Benda Uji : B50F1.5-5



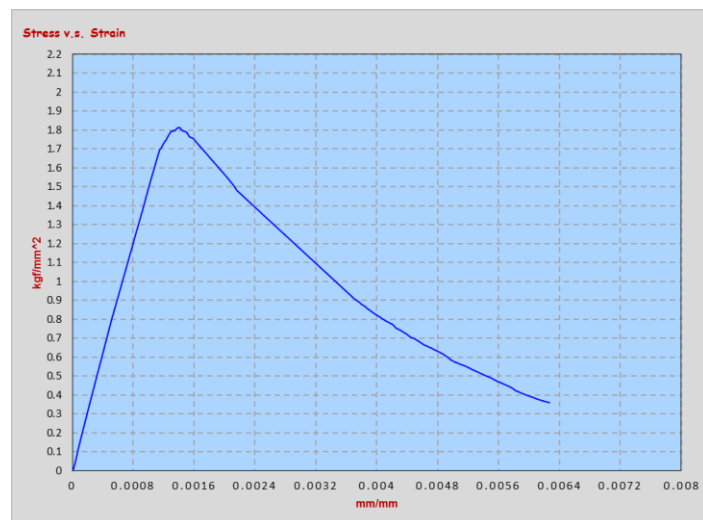
Kode Benda Uji : B50F1.5-6



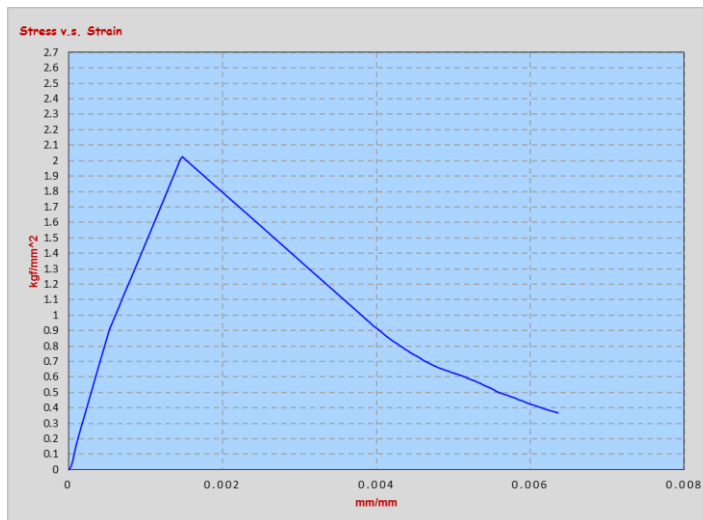
Kode Benda Uji : B100F1.5-4



Kode Benda Uji : B100F1.5-5



Kode Benda Uji : B100F1.5-6



DATA FORMULA TEGANGAN-REGANGAN EKPERIMENTAL DAN TEORITIS

Kode benda uji : BF0

No.	ANALISA TEORITIS					
	f_c	f'_c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_s/ϵ'_c
1	0	33.4863	0	0.00143	9.76	0
2	3.672315	33.4863	0.0001	0.00143	9.76	0.098
3	7.311475	33.4863	0.0003	0.00143	9.76	0.196
4	10.9515	33.4863	0.0004	0.00143	9.76	0.294
5	14.71437	33.4863	0.0006	0.00143	9.76	0.394
6	18.80822	33.4863	0.0007	0.00143	9.76	0.504
7	23.03936	33.4863	0.0009	0.00143	9.76	0.618
8	27.16714	33.4863	0.0010	0.00143	9.76	0.732
9	30.85463	33.4863	0.0012	0.00143	9.76	0.845
10	33.48633	33.4863	0.0014	0.00143	9.76	1.000
11	32.8334	33.4863	0.0015	0.00143	9.76	1.064
12	31.41417	33.4863	0.0016	0.00143	9.76	1.111
13	29.95981	33.4863	0.0016	0.00143	9.76	1.144
14	26.82163	33.4863	0.0017	0.00143	9.76	1.198
15	24.90308	33.4863	0.0017	0.00143	9.76	1.227
16	20.77817	33.4863	0.0018	0.00143	9.76	1.284
17	15.90433	33.4863	0.0019	0.00143	9.76	1.352
18	8.902944	33.4863	0.0021	0.00143	9.76	1.479

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	3.7293	0.00014
3	7.4500	0.00028
4	11.1710	0.00042
5	15.0153	0.00056
6	18.6123	0.00072
7	22.3333	0.00088
8	26.0537	0.00104
9	29.7737	0.00120
10	33.4863	0.00143
11	31.0497	0.00152
12	28.4653	0.00158
13	26.2383	0.00163
14	23.7383	0.00171
15	21.4453	0.00175
16	18.7820	0.00183
17	16.1650	0.00193
18	14.0700	0.00211

Kode benda uji : BF15

No.	ANALISA TEORITIS					
	f_c	f'_c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_s/ϵ'_c
1	0	22.490	0	0.00135	5.02	0
2	2.175629	22.490	0.0001	0.00135	5.02	0.077
3	4.703581	22.490	0.0002	0.00135	5.02	0.168
4	7.227915	22.490	0.0003	0.00135	5.02	0.257
5	9.91634	22.490	0.0005	0.00135	5.02	0.354
6	13.09439	22.490	0.0006	0.00135	5.02	0.469
7	16.25973	22.490	0.0008	0.00135	5.02	0.589
8	19.08179	22.490	0.0010	0.00135	5.02	0.710
9	21.23729	22.490	0.0011	0.00135	5.02	0.830
10	22.49033	22.490	0.0013	0.00135	5.02	1.000
11	21.45168	22.490	0.0016	0.00135	5.02	1.154
12	20.01747	22.490	0.0017	0.00135	5.02	1.244
13	19.13396	22.490	0.0017	0.00135	5.02	1.290
14	17.85649	22.490	0.0018	0.00135	5.02	1.350
15	15.87441	22.490	0.0019	0.00135	5.02	1.439
16	13.28842	22.490	0.0021	0.00135	5.02	1.555
17	9.896772	22.490	0.0023	0.00135	5.02	1.731
18	7.290639	22.490	0.0026	0.00135	5.02	1.905

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	2.5063	0.00010
3	5.0000	0.00023
4	7.5053	0.00035
5	10.1229	0.00048
6	12.5003	0.00063
7	15.0027	0.00079
8	17.4963	0.00096
9	19.9990	0.00112
10	22.4903	0.00135
11	20.8583	0.00156
12	19.1207	0.00168
13	17.5477	0.00174
14	15.9627	0.00182
15	14.3577	0.00194
16	12.4557	0.00210
17	10.8760	0.00233
18	9.5977	0.00257

Kode benda uji : BF50

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	14.965	0	0.00115	3.14	0
2	2.049371	14.965	0.0001	0.00115	3.14	0.093
3	4.034616	14.965	0.0002	0.00115	3.14	0.184
4	6.043949	14.965	0.0003	0.00115	3.14	0.278
5	8.130352	14.965	0.0004	0.00115	3.14	0.378
6	10.04656	14.965	0.0006	0.00115	3.14	0.479
7	11.75441	14.965	0.0007	0.00115	3.14	0.581
8	13.09243	14.965	0.0008	0.00115	3.14	0.679
9	14.16934	14.965	0.0009	0.00115	3.14	0.788
10	14.96467	14.965	0.0012	0.00115	3.14	1.000
11	14.01166	14.965	0.0015	0.00115	3.14	1.271
12	12.53226	14.965	0.0017	0.00115	3.14	1.476
13	11.82441	14.965	0.0018	0.00115	3.14	1.565
14	10.95751	14.965	0.0019	0.00115	3.14	1.674
15	10.09514	14.965	0.0021	0.00115	3.14	1.785
16	9.203831	14.965	0.0022	0.00115	3.14	1.908
17	8.345854	14.965	0.0023	0.00115	3.14	2.037
18	7.621284	14.965	0.0025	0.00115	3.14	2.156

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	1.6657	0.00011
3	3.3250	0.00021
4	4.9893	0.00032
5	6.7387	0.00044
6	8.3157	0.00055
7	9.9800	0.00067
8	11.6407	0.00078
9	13.3030	0.00091
10	14.9647	0.00115
11	14.0497	0.00146
12	12.7260	0.00170
13	11.9517	0.00180
14	11.0290	0.00193
15	10.1103	0.00206
16	9.1920	0.00220
17	8.2743	0.00235
18	7.4847	0.00248

Kode benda uji : BF100

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	11.881	0	0.00109	2.90	0
2	1.465116	11.881	0.0001	0.00109	2.90	0.081
3	3.18262	11.881	0.0002	0.00109	2.90	0.176
4	4.91652	11.881	0.0003	0.00109	2.90	0.275
5	6.662477	11.881	0.0004	0.00109	2.90	0.379
6	8.23526	11.881	0.0005	0.00109	2.90	0.483
7	9.608547	11.881	0.0006	0.00109	2.90	0.591
8	10.66659	11.881	0.0008	0.00109	2.90	0.697
9	11.44825	11.881	0.0009	0.00109	2.90	0.815
10	11.88067	11.881	0.0011	0.00109	2.90	1.000
11	11.14527	11.881	0.0014	0.00109	2.90	1.287
12	9.583988	11.881	0.0017	0.00109	2.90	1.583
13	8.546937	11.881	0.0019	0.00109	2.90	1.768
14	7.613094	11.881	0.0021	0.00109	2.90	1.946
15	6.834805	11.881	0.0023	0.00109	2.90	2.110
16	6.225262	11.881	0.0025	0.00109	2.90	2.253
17	5.792631	11.881	0.0026	0.00109	2.90	2.365
18	5.021997	11.881	0.0028	0.00109	2.90	2.593

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	1.3247	0.00009
3	2.6463	0.00019
4	3.9677	0.00030
5	5.3493	0.00041
6	6.6073	0.00053
7	7.9267	0.00065
8	9.2447	0.00076
9	10.5687	0.00089
10	11.8807	0.00109
11	10.7060	0.00141
12	9.8243	0.00173
13	8.9337	0.00193
14	8.0477	0.00213
15	7.1580	0.00230
16	6.3553	0.00246
17	5.5907	0.00258
18	4.4943	0.00283

Kode benda uji : BOF.75

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	35.3507	0	0.00159	6.46	0
2	3.914576	35.3507	0.0001	0.00159	6.46	0.094
3	7.707208	35.3507	0.0003	0.00159	6.46	0.184
4	11.63266	35.3507	0.0004	0.00159	6.46	0.278
5	15.65152	35.3507	0.0006	0.00159	6.46	0.374
6	20.5516	35.3507	0.0008	0.00159	6.46	0.492
7	25.46702	35.3507	0.0010	0.00159	6.46	0.614
8	29.90028	35.3507	0.0012	0.00159	6.46	0.732
9	33.55426	35.3507	0.0014	0.00159	6.46	0.856
10	35.35067	35.3507	0.0016	0.00159	6.46	1.000
11	34.90989	35.3507	0.0017	0.00159	6.46	1.067
12	33.99185	35.3507	0.0018	0.00159	6.46	1.117
13	32.94808	35.3507	0.0018	0.00159	6.46	1.156
14	30.57945	35.3507	0.0019	0.00159	6.46	1.223
15	28.18445	35.3507	0.0020	0.00159	6.46	1.279
16	24.76783	35.3507	0.0021	0.00159	6.46	1.352
17	19.75487	35.3507	0.0023	0.00159	6.46	1.457
18	11.59209	35.3507	0.0027	0.00159	6.46	1.670

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	3.9307	0.00015
3	7.8597	0.00029
4	11.7817	0.00044
5	15.9040	0.00060
6	19.6430	0.00078
7	23.5690	0.00098
8	27.4943	0.00116
9	31.3937	0.00136
10	35.3507	0.00159
11	32.8580	0.00170
12	30.0363	0.00178
13	27.8767	0.00184
14	25.2733	0.00194
15	22.9227	0.00203
16	20.1800	0.00215
17	17.8280	0.00232
18	15.4850	0.00265

Kode benda uji : B15F0.75

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	27.194	0	0.00162	4.11	0
2	2.435913	27.194	0.0001	0.00162	4.11	0.068
3	5.461615	27.194	0.0002	0.00162	4.11	0.152
4	8.517592	27.194	0.0004	0.00162	4.11	0.237
5	11.6357	27.194	0.0005	0.00162	4.11	0.325
6	15.72976	27.194	0.0007	0.00162	4.11	0.443
7	19.82735	27.194	0.0009	0.00162	4.11	0.569
8	23.32884	27.194	0.0011	0.00162	4.11	0.696
9	25.97206	27.194	0.0013	0.00162	4.11	0.832
10	27.19367	27.194	0.0016	0.00162	4.11	1.000
11	27.06148	27.194	0.0017	0.00162	4.11	1.056
12	26.74076	27.194	0.0018	0.00162	4.11	1.106
13	25.46795	27.194	0.0020	0.00162	4.11	1.214
14	23.41052	27.194	0.0022	0.00162	4.11	1.332
15	21.24843	27.194	0.0023	0.00162	4.11	1.439
16	18.80359	27.194	0.0025	0.00162	4.11	1.555
17	16.30027	27.194	0.0027	0.00162	4.11	1.678
18	12.18255	27.194	0.0031	0.00162	4.11	1.916

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	3.0183	0.00011
3	6.0487	0.00025
4	9.0670	0.00038
5	12.2427	0.00053
6	15.1133	0.00072
7	18.1343	0.00092
8	21.1557	0.00113
9	24.1753	0.00135
10	27.1937	0.00162
11	25.1733	0.00171
12	23.1320	0.00179
13	21.1460	0.00197
14	19.1270	0.00216
15	17.1097	0.00233
16	14.6013	0.00252
17	13.0667	0.00272
18	11.2813	0.00311

Kode benda uji : B50F0.75

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	19.368	0	0.00143	4.16	0
2	2.146287	19.368	0.0001	0.00143	4.16	0.084
3	4.325574	19.368	0.0002	0.00143	4.16	0.170
4	6.366747	19.368	0.0004	0.00143	4.16	0.250
5	8.623166	19.368	0.0005	0.00143	4.16	0.339
6	11.44337	19.368	0.0007	0.00143	4.16	0.454
7	14.18157	19.368	0.0008	0.00143	4.16	0.574
8	16.28556	19.368	0.0010	0.00143	4.16	0.679
9	18.27908	19.368	0.0012	0.00143	4.16	0.813
10	19.368	19.368	0.0014	0.00143	4.16	1.000
11	18.72807	19.368	0.0016	0.00143	4.16	1.150
12	17.73985	19.368	0.0018	0.00143	4.16	1.247
13	16.25799	19.368	0.0019	0.00143	4.16	1.358
14	14.57247	19.368	0.0021	0.00143	4.16	1.471
15	12.76962	19.368	0.0023	0.00143	4.16	1.590
16	10.13002	19.368	0.0026	0.00143	4.16	1.780
17	8.784749	19.368	0.0027	0.00143	4.16	1.893
18	6.287704	19.368	0.0031	0.00143	4.16	2.159

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	2.1605	0.00012
3	4.3905	0.00024
4	6.4595	0.00036
5	8.7100	0.00049
6	10.7675	0.00065
7	12.9200	0.00082
8	15.0665	0.00097
9	17.2230	0.00116
10	19.3680	0.00143
11	17.8730	0.00165
12	16.4635	0.00179
13	14.8740	0.00195
14	13.3780	0.00211
15	11.8825	0.00228
16	10.1645	0.00255
17	9.1675	0.00271
18	7.3900	0.00309

Kode benda uji : B100F0.75

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	13.542	0	0.00129	3.38	0
2	1.645537	13.542	0.0001	0.00129	3.38	0.086
3	3.288391	13.542	0.0002	0.00129	3.38	0.171
4	4.930006	13.542	0.0003	0.00129	3.38	0.258
5	6.558707	13.542	0.0004	0.00129	3.38	0.345
6	8.904641	13.542	0.0006	0.00129	3.38	0.479
7	10.92275	13.542	0.0008	0.00129	3.38	0.614
8	12.43809	13.542	0.0010	0.00129	3.38	0.749
9	13.31522	13.542	0.0011	0.00129	3.38	0.884
10	13.54233	13.542	0.0013	0.00129	3.38	1.000
11	12.51314	13.542	0.0017	0.00129	3.38	1.279
12	11.6519	13.542	0.0018	0.00129	3.38	1.400
13	10.11784	13.542	0.0021	0.00129	3.38	1.592
14	8.694395	13.542	0.0023	0.00129	3.38	1.775
15	7.350742	13.542	0.0025	0.00129	3.38	1.968
16	5.768858	13.542	0.0029	0.00129	3.38	2.246
17	4.862677	13.542	0.0032	0.00129	3.38	2.448
18	4.013361	13.542	0.0035	0.00129	3.38	2.684

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	1.5563	0.00011
3	3.1083	0.00022
4	4.6570	0.00033
5	6.0947	0.00045
6	7.7580	0.00062
7	9.3083	0.00079
8	10.8617	0.00097
9	12.4120	0.00114
10	13.5423	0.00129
11	12.5350	0.00166
12	11.5210	0.00181
13	10.3070	0.00206
14	9.2150	0.00230
15	7.9830	0.00255
16	6.7510	0.00291
17	5.9753	0.00317
18	4.8293	0.00347

Kode benda uji : B01.5

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	42.1260	0	0.00165	5.55	0
2	4.220084	42.1260	0.0001	0.00165	5.55	0.082
3	9.351535	42.1260	0.0003	0.00165	5.55	0.182
4	14.61718	42.1260	0.0005	0.00165	5.55	0.284
5	20.02205	42.1260	0.0006	0.00165	5.55	0.390
6	26.76567	42.1260	0.0009	0.00165	5.55	0.524
7	33.45018	42.1260	0.0011	0.00165	5.55	0.666
8	38.02413	42.1260	0.0013	0.00165	5.55	0.781
9	41.00241	42.1260	0.0015	0.00165	5.55	0.890
10	42.126	42.1260	0.0017	0.00165	5.55	1.000
11	41.72344	42.1260	0.0018	0.00165	5.55	1.065
12	40.81254	42.1260	0.0018	0.00165	5.55	1.117
13	38.49036	42.1260	0.0020	0.00165	5.55	1.198
14	33.0597	42.1260	0.0022	0.00165	5.55	1.329
15	25.92105	42.1260	0.0024	0.00165	5.55	1.480
16	17.41175	42.1260	0.0028	0.00165	5.55	1.685
17	15.00585	42.1260	0.0029	0.00165	5.55	1.757
18	11.69482	42.1260	0.0031	0.00165	5.55	1.878

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	4.6790	0.00014
3	9.3670	0.00030
4	14.0510	0.00047
5	18.9570	0.00064
6	23.4070	0.00087
7	28.0925	0.00110
8	32.7625	0.00129
9	37.4435	0.00147
10	42.1260	0.00165
11	38.8225	0.00176
12	35.8395	0.00185
13	32.1910	0.00198
14	28.8820	0.00220
15	25.5680	0.00244
16	21.0646	0.00278
17	18.9420	0.00290
18	15.5965	0.00310

Kode benda uji : B15F1.5

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	28.477	0	0.00163	4.14	0
2	2.69055	28.477	0.0001	0.00163	4.14	0.072
3	5.907316	28.477	0.0003	0.00163	4.14	0.157
4	9.136562	28.477	0.0004	0.00163	4.14	0.243
5	12.52106	28.477	0.0005	0.00163	4.14	0.335
6	16.71521	28.477	0.0007	0.00163	4.14	0.450
7	20.95817	28.477	0.0009	0.00163	4.14	0.576
8	24.62162	28.477	0.0012	0.00163	4.14	0.705
9	27.32663	28.477	0.0014	0.00163	4.14	0.841
10	28.477	28.477	0.0016	0.00163	4.14	1.000
11	27.83917	28.477	0.0018	0.00163	4.14	1.123
12	26.31013	28.477	0.0020	0.00163	4.14	1.235
13	23.39522	28.477	0.0023	0.00163	4.14	1.384
14	20.49015	28.477	0.0025	0.00163	4.14	1.515
15	17.6412	28.477	0.0027	0.00163	4.14	1.646
16	14.28549	28.477	0.0030	0.00163	4.14	1.818
17	12.54349	28.477	0.0031	0.00163	4.14	1.922
18	8.722394	28.477	0.0036	0.00163	4.14	2.214

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	3.1720	0.00012
3	6.3320	0.00026
4	9.4917	0.00040
5	12.8263	0.00055
6	15.8237	0.00074
7	18.9863	0.00094
8	22.1540	0.00115
9	25.3130	0.00137
10	28.4770	0.00163
11	26.2340	0.00183
12	24.2090	0.00202
13	21.7367	0.00226
14	19.4897	0.00248
15	17.2427	0.00269
16	14.2423	0.00297
17	12.7500	0.00314
18	10.5030	0.00362

Kode benda uji : B50F1.5

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	26.149	0	0.00152	3.09	0
2	3.427485	26.149	0.0001	0.00152	3.09	0.089
3	6.757397	26.149	0.0003	0.00152	3.09	0.175
4	10.05976	26.149	0.0004	0.00152	3.09	0.262
5	13.43355	26.149	0.0005	0.00152	3.09	0.354
6	17.0481	26.149	0.0007	0.00152	3.09	0.460
7	20.35455	26.149	0.0009	0.00152	3.09	0.571
8	23.00102	26.149	0.0010	0.00152	3.09	0.683
9	24.82619	26.149	0.0012	0.00152	3.09	0.791
10	26.149	26.149	0.0015	0.00152	3.09	1.000
11	25.32748	26.149	0.0018	0.00152	3.09	1.185
12	23.81942	26.149	0.0020	0.00152	3.09	1.333
13	21.63066	26.149	0.0023	0.00152	3.09	1.503
14	19.25198	26.149	0.0026	0.00152	3.09	1.677
15	16.26388	26.149	0.0029	0.00152	3.09	1.910
16	11.95885	26.149	0.0035	0.00152	3.09	2.327
17	10.2962	26.149	0.0039	0.00152	3.09	2.538
18	7.487673	26.149	0.0046	0.00152	3.09	3.018

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	2.9090	0.00014
3	5.8180	0.00027
4	8.7210	0.00040
5	11.7690	0.00054
6	14.5287	0.00070
7	17.4360	0.00087
8	20.3457	0.00104
9	23.2423	0.00120
10	26.1490	0.00152
11	23.4790	0.00180
12	21.5157	0.00203
13	19.4347	0.00229
14	17.4190	0.00255
15	15.0803	0.00291
16	12.7290	0.00354
17	11.3723	0.00386
18	9.3577	0.00459

Kode benda uji : B100F1.5

No.	ANALISA TEORITIS					
	fc	f'c	ϵ_c	ϵ'_c	n	ϵ_c/ϵ'_c
1	0	18.769	0	0.00142	2.93	0
2	2.648895	18.769	0.0001	0.00142	2.93	0.093
3	5.198201	18.769	0.0003	0.00142	2.93	0.183
4	7.711126	18.769	0.0004	0.00142	2.93	0.274
5	10.26278	18.769	0.0005	0.00142	2.93	0.370
6	12.90747	18.769	0.0007	0.00142	2.93	0.480
7	15.25384	18.769	0.0008	0.00142	2.93	0.596
8	17.02601	18.769	0.0010	0.00142	2.93	0.712
9	18.16658	18.769	0.0012	0.00142	2.93	0.827
10	18.76867	18.769	0.0014	0.00142	2.93	1.000
11	17.7135	18.769	0.0018	0.00142	2.93	1.269
12	16.13992	18.769	0.0021	0.00142	2.93	1.465
13	14.01247	18.769	0.0024	0.00142	2.93	1.701
14	12.02627	18.769	0.0027	0.00142	2.93	1.935
15	10.09824	18.769	0.0031	0.00142	2.93	2.196
16	7.943641	18.769	0.0036	0.00142	2.93	2.566
17	7.085783	18.769	0.0039	0.00142	2.93	2.752
18	5.764697	18.769	0.0044	0.00142	2.93	3.106

No.	EKSPERIMENTAL	
	σ	ϵ
1	0	0
2	2.0853	0.00013
3	4.1797	0.00026
4	6.2567	0.00039
5	8.4440	0.00053
6	10.4323	0.00068
7	12.5120	0.00085
8	14.6050	0.00101
9	16.6873	0.00117
10	18.7687	0.00142
11	16.8593	0.00180
12	15.4490	0.00208
13	13.8690	0.00242
14	12.3923	0.00275
15	10.7200	0.00312
16	9.1097	0.00364
17	7.9623	0.00391
18	6.4853	0.00441

MIX DESIGN BENDA UJI

MIX DESIGN					
No	Uraian	Tabel/Grafik	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Karakteristik	Ditetapkan	300	kg/cm ²	
2	Standar Deviasi	Tabel 1	50	kg/cm ²	
3	Nilai Tambah (Margin)	1,64*(2)	82	kg/cm ²	
4	Kekuatan Tekan Rata-Rata	(1)+(3)	382	kg/cm ²	
5	Jenis Semen	Ditetapkan	40	Kg	Tipe 1
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah paserpan		
7	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir Lumajang		
8	FAS	Ditetapkan	0.3		
9	Slump	Tabel 4	30-60	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20	mm	
11	Kadar Air Bebas	Tabel 3	210	kg/cm ³	
12	Kadar Semen	(11)/(8)	700	kg/cm ³	
13	Kadar Semen Maks	Ditetapkan		kg/cm ³	
14	Kadar Semen Min	Tabel 2	275	kg/cm ³	
15	FAS yg Disesuaikan	(11)/(Kadar Semen yg Dipakai)	0.764		
16	Gradasi Agregat Halus	Grafik 2a-2d	Zona 2		
17	Persen Agregat Halus (FM)	Grafik 3a-3c	0.37	%	
18	BJ Agregat Gabungan	(FM Pasir*BJ Pasir)+(FM Kerikil*BJ Kerikil)	2.63	kg/cm ³	
19	BJ Beton	Grafik Gb 4	2375	kg/cm ³	
20	Kadar Agregat Gabungan	(19)-(Kadar Semen dipakai)-(11)	1465	kg/cm ³	
21	Kadar Agregat Halus	(20)*(17)	542	kg/cm ³	
22	Kadar Agregat Kasar	(20)-(21)	923	kg/cm ³	
Kebutuhan Bahan untuk Pembuatan 1 M3 Beton yg Direncanakan					
23	a. Semen	12	700	kg/cm ³	
24	b. Air	11	210	Kg	
25	c. Agregat Halus	21	542	kg/cm ³	
26	d. Agregat Kasar	22	923	kg/cm ³	
Perbandingan Mix Design					
Semen			1		
Air			0.3		
Agregat Halus (Pasir)			0.77		
Agregat Kasar (Kerikil)			1.32		

BIODATA PENULIS



Meity Wulandari, penulis lahir di Pamekasan, 28 Mei 1991, merupakan anak ketiga dari empat (4) bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Bhayangkari 78, SDN Murtajih I Pamekasan, SMPN 2 Pamekasan dan SMAN 1 Galis Pamekasan. Pada tahun 2010 penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru II (SPMB II) yang diselenggarakan oleh PTN Universitas Negeri Surabaya dan diterima di Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik, penulis menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh penambahan abu ampas tebu (*bagasse ash*) terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada struktur balok pendek”. Setelah menyelesaikan program Sarjana pada tahun 2016, pada tahun yang sama penulis mengikuti tes seleksi pascasarjana dengan memilih program studi Teknik sipil bidang keahlian struktur.